

KUOPION KAUPUNGIN RAKENNUSTIETOMALLINNUK- SEN KEHITTÄMINEN

Marko Ahola

Opinnäytetyö
Alueidenkäytön suunnittelun koulutusohjelma
Tekniikka ja liikenne
Insinööri Ylempi AMK

2017

Alueiden käytön suunnittelu
Insinööri YAMK

Tekijä	Marko Ahola	Vuosi	2017
Ohjaaja	Pasi Laurila		
Toimeksiantaja	Kuopion kaupunki		
Työn nimi	Kuopion kaupungin rakennustietomallinnuksen kehittäminen		
Sivu- ja liitemäärä	83 + 7		

Kuopion kaupunki on tuottanut kolmiulotteisia rakennusmalleja muutaman vuoden ajan. 3D-rakennusmalleilla kuvataan asemakaava-alueen olemassa olevaa rakennettua ympäristöä. Asemakaavahankkeen yhteydessä luotavan kolmiulotteisen havainnemallin perusteella asukkaat sekä yritykset saavat käsityksen, miten aluetta kehitetään ja miten rakentaminen sijoittautuu kaava-alueelle. Rakennusmallinnusta on tehty Kuopion kaupungissa tähän asti yksittäisiä suunnitteluhankkeita varten, ajattelematta ylläpidollista näkökulmaa.

Opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia rakennustietomallintamisen lähtökohtia, valtakunnallisia ohjeistuksia sekä teknisiä vaatimuksia, kuinka Kuopion kaupunki pystyy tuottamaan kolmiulotteisia rakennustietomalleja työprosesseissaan. Lopputuloksena tulisi kuvata rakennustietomallinnuksen ylläpitoprosessi rakennuslupaprosessin yhteydessä.

Opinnäytetyön tulokset ovat valtakunnallisia, sillä vastaavaa toimintamallia kehitetään samanaikaisesti useissa kaupungeissa. Opinnäytetyö seuraa Kaupunkimallinnuksen ohjekirjan suosituksia, jossa kaupunkimallinnuksen tiedostomuodoksi on määritetty CityGML 2.0 -tiedonsiirtoformaatti.

Tutkimustehtävän johtopäätöksissä todetaan, että rakennustietomallinnus on monivaiheinen työprosessi, jossa tiedon ajantasaisuus on suuressa roolissa. Jos ajantasaista tietoa ei ole saatavissa, vaikeutuu rakennusten mallintaminen merkittävästi. Opinnäytetyössä tehdyn kyselytutkimuksen perusteella Kuopion kaupungin henkilöstön perehdyttäminen on tärkeää, jotta rakennustietomalleja voidaan hyödyntää tehokkaasti suunnittelukäytössä.

Asiasanat

kaupunkimalli, Kuopion kaupunki, laserkeilaus, rakennusmallinnus, rakennusrekisteri

School of Natural Resources and
the Environment
Degree Programme In Landscape
Management

Author	Marko Ahola	Year	2017
Supervisor	Pasi Laurila		
Commissioned by	The City of Kuopio		
Subject of thesis	Developing building information modelling in City of Kuopio		
Number of pages	83 + 7		

The City of Kuopio has produced 3D-building models for some years. The building models describe how the city plan area is built. Nowadays almost every new city plans to produce a 3D virtual model of the environment. The 3D virtual model of the environment is the most realistic way to show people and organizations how new buildings and real estates will be located in the environment. The City of Kuopio has not considered the maintenance of the building model before.

This thesis research is based on producing 3D-building information models. It is important to research the information of international introductions and technical requirements. The main aim of this thesis is to develop a process on how to collect building information model data as part of the building permit process.

The results of the thesis are nationwide. The same kind of 3D city modelling process is developed in different cities in Finland. The thesis follows the guideline of Kaupunkimallinnuksen ohjekirja, that suggests the use of CityGML 2.0 as data transfer.

The conclusion of the research is that the maintenance process of 3D-building information models has many periods. The role of up-to-date information is very important. If there is no up-to-date data and information available, the modelling process is more difficult. According to the questionnaire survey, the employees of Kuopio City considered training very important for the efficient use of the 3D City model data.

Key words Building model, city model, lidar, the building register, The City of Kuopio

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	13
2	LÄHTÖKOHDAT TUTKIMUKSELLE	15
2.1	Lähtökohtia	15
2.2	Prosessien kehittämisestä	15
2.3	Rakennuksen elinkaari.....	17
2.4	Rakennuksen sijaintitiedon keräämisen lakisääteiset perusteet	17
2.5	Rakennuksen sijaintitiedon kerääminen Kuopiossa.....	19
2.6	Muiden kuntien esimerkkejä ja tutkimuksia.....	21
2.7	Rakennustietomallinnus Euroopan kaupungeissa	22
2.8	Kaupunkimallin tärkeimmät käyttökohteet kunnan tehtävissä.....	23
3	KAUPUNKIMALLINNUKSEN OHJEISTUKSIA.....	24
3.1	Kansallinen kaupunkimallinnuksen ohjekirja.....	24
3.2	CityGML-tietomallikuvaus	24
3.3	CityGML-rakennusmoduulin ominaisuuksia.....	26
3.4	Rakennuksen geneeriset ominaisuudet.....	28
3.5	CityGML-validointi.....	28
4	RAKENNUSMALLINTAMISEN LÄHTÖAINEISTO	30
4.1	Rakennus mallintamisen lähtöaineistoja.....	30
4.1.1	Laserkeilausaineisto.....	30
4.1.2	Ilmakuva-aineisto	31
4.1.3	Viistokuva-aineisto	32
4.1.4	Maanmittauslaitoksen aineistot	32
4.1.5	UAV lennokka- ja kopterikuvaus.....	33
4.1.6	Kantakartan rakennustieto	33
4.1.7	Rakennusrekisteritiedot.....	34
4.1.8	CityGML-tietokanta.....	36
5	RAKENTAMISEN TIETOMALLINNUS	37
5.1	Rakentamisen tietomallinnus	37
5.2	Rakennuksen tietomalli IFC	38
5.3	IFC-rakennustietomallista CityGML-kaupunkimalliin.....	38
5.4	Tietomallinnus tulevaisuudessa osana rakennuslupaprosessia.....	40

5.5	Rakennusvalvonnan lupien sähköistyminen Kuopiossa	41
6	LÄHTÖTILANTEEN TIETOMALLINNUS KUOPIOSSA	43
6.1	Yleistä	43
6.2	Lähtötilannemallinnuksen prosessikuvaus	46
6.2.1	Rakennusmallinnus	47
6.2.2	Rakennusmallin tallentaminen tietokantaan	48
6.2.3	Rakennuksen visualisointi	50
6.2.4	Rakennuksen rekisteritiedon yhdistäminen malliin	53
7	YLLÄPITOMALLIN KEHITTÄMINEN	54
7.1	Kaupunkimallinnuksen ylläpidosta	54
7.2	Uuden rakennustiedon kerääminen	54
7.2.1	LOD3- tai LOD4-tarkkuustaso IFC-tietomallista	54
7.2.2	LOD2-tarkkuustaso UAV-ilmakuvauksesta tai ilmalaserkeilauksesta	55
7.2.3	LOD1-tarkkuustaso sijaintikatselmuksesta sekä rakennusluvan tiedoista	56
7.2.4	Puretut rakennukset	56
7.3	Uuden rakennustiedon tuottajien roolit	57
7.3.1	LOD3- tai LOD4-tarkkuustaso IFC-tietomallista	58
7.3.2	LOD2-tarkkuustaso lennökkikuvauksesta tai ilmalaserkeilauksesta	58
7.3.3	LOD1-tarkkuustaso sijaintikatselmuksesta sekä rakennusluvan tiedoista	59
7.4	Puretut rakennukset	59
7.5	Ylläpitäjien perehdytys	60
7.6	Loppukäyttäjä	61
8	PILOTTITESTI	62
8.1	Yleistä	62
8.2	Rakennusten mallintaminen ilmalaserkeilausaineistosta	63
8.3	Purettujen rakennusten tarkastaminen	64
8.4	Ilmalaserkeilaus hetkeä uudempien rakennusten mallintaminen	64
8.5	Rakennusten teksturointi	65
8.6	Rakennusmallien tallentaminen 3DCitydb tietokantaan	65
8.7	Rakennusten rekisteritietojen tarkastaminen ja hyödyntäminen suunnitteluohjelmistossa	66

8.8	Pilottihankkeen työmääräarvio, resurssit ja kustannukset.....	66
8.9	Testialueen huomiot ja ongelmat	67
8.10	Kaupungin työntekijöiden kommentteja	67
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSELVITYKSET	70
9.1	IFC-mallien käytöstä	70
9.2	CityGML 3.0	71
9.3	Kansallinen maastotietokanta hanke	71
9.4	Seuraavia askelia	73
9.5	Kaupunkimallinnuksen ohjekirjan puutteita	74
10	YHTEENVETO	76
	LÄHTEET	77
	LIITTEET	84

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Rakennetut tilat kohteiden tietomallikuvaus KuntaGML-tietomallissa...	18
Taulukko 2. Tarjouspyyntöasiakirjan vertaus JHS185 suositusten mittausluokkaan	30
Taulukko 3. Kuopion kaupungin ilmakuvaindeksi.....	31
Taulukko 4. Tarkkuustasojen mittaustarkkuusvaatimuksia CityGML 2.0 -määrittelyssä	33
Taulukko 5. Trimble Locus maastotietokannan rakennuskohteet.....	44
Taulukko 6. Kuopion kaupungin paikkatieto-ohjelmistoja rakennusmallinnuksen ylläpidossa.....	45
Taulukko 7. Savilahden testialueen työmääräarviotaulukko.....	67

KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Kaupunkiympäristön palvelualueen työyksiköt.....	16
Kuvio 2. Rakennuksen elinkaari.....	17
Kuvio 3. Sijaintikatselmuksia Trimble Locus maastotietojärjestelmässä.....	19
Kuvio 4. Kuntaliitokset vuosina 2011–2017 sekä asemakaavan pohjakartta-alueet.	20
Kuvio 5. Rakennustietomallin ominaisuustietoja.....	21
Kuvio 6. Berliinin rakennustietomallista poimittu CityGML 1.0-tiedosto.....	22
Kuvio 7. Havainneaineisto Kuopion kaupungin Yötarhantien kaavahankkeesta	23
Kuvio 8. Level of Detail tarkkuustasot.....	26
Kuvio 9. Rakennuksen korkeuden määrittäminen eri LOD tasoilla.....	27
Kuvio 10. Tumma kattopinta, josta ei heijastu laserpulssi.....	32
Kuvio 11. Helsingin 3D+ rakennustietomalli yksilöity RATU-tunnuksella.....	35
Kuvio 12. Rakennuksen IFC-tietomalli Autodesk InfraWorks 360 sovelluksessa	37
Kuvio 13. IFC2x3-tietomallin rakennekuvaus.....	39
Kuvio 14. Mallinnettava alue sekä asemakaava-alueet	43
Kuvio 15. Lähtötilan mallinnuksen prosessikuvaus.....	46
Kuvio 16. Luokiteltu ilmalaserkeilausaineisto.....	47
Kuvio 17. Toisissaan kiinni olevat rakennukset kantakartalla	48
Kuvio 18. Näkymä 3D City Database Importer/Exporter-ohjelmasta	49
Kuvio 19. Rakennusten toleranssiasetukset.....	50
Kuvio 20. Rakennuksen rasteroitu kattopinta.....	51
Kuvio 21. Teksturoitu rakennus sekä rakennuksen geometriamalli	52
Kuvio 22. Kasvillisuuden peittämät seinäpinnat	52

Kuvio 23. Ylläpitoprosessin kuvaus.....	57
Kuvio 24. Tampereen kaupunkimallin latauspalvelun indeksikartta.....	60
Kuvio 25. Savilahden yleiskaava-alue sekä laserkeilausalueet	62

ALKUSANAT

Kiitän opinnäytetyön tekemisessä apuna ollutta Kuopio kaupungin henkilökuntaa. Heidän mukana olonsa sekä tietonsa oli erittäin tärkeää, jotta tutkimus voitiin jalkauttaa Kuopion kaupungin prosessien alkujuurille. Kiitän myös työyksiköäni Kuopion paikkatietopalveluita, joka mahdollistaa paikkatiedon kehittämiseen liittyvän tutkimustyön. Kiitän erityisesti puolisoani, joka järjesteli perheemme ajankäytön puoleksi vuodeksi niin, että pystyin perehtymään opinnäytetyöni tekemiseen.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CityGML	CityGML on XML-tietue pohjainen geometrinen tiedon-siirtomalli, joka kehitetty kaupunkimallinnuksen tarpeita ajattelen.
Collada	Collada on XML-tietue pohjainen geometrinen tietomal-li, joka on kehitetty tiedon siirtoformaatiksi eri sovellus-ten välille. Kehittelijänä Khronos group.
DWG	DWG on laajalti käytössä oleva tiedostoformaatti, jonka on kehittänyt Autodesk limited 80-luvulla.
IFC	The industry foundation classes on avoin kansainväli-nen tiedonsiirtoformaatti, joka tarkoitettu rakennuksien sekä teollisuusrakenteiden mallintamiseen. Standardin on kehittänyt buildingSMART International. Suomessa ohjelmistot tukevat versiota 2x3, vaikkakin versio 4 on jo julkaistu.
Kerrosala	Rakennuksen kerrosalalla tarkoitetaan rakennuksessa olevaa kerrosten yhteenlaskettua pinta-alaa.
Kerrosluku	Yleistermi, joka kuvaa rakennusten kerrosmäärää.
KuntaGML	Yleisnimitys KuntaGML-hankkeelle, jonka toiminnalli-sena tarkoituksena on ottaa käyttöön standardimuotoi-set rajapintapalvelut Suomen kunnissa helpottamaan tiedonsiirtoa kunnan, valtion sekä yksityisten tahojen välillä.
LOD	Lyhenne tulee englanninkielisestä sanasta Level of detail. Vapaasti suomennettuna termi tarkoittaa tark-

kuustasoa. LOD-taso määrittelee kolmiulotteisen rakennustietomallin yksityiskohtaisuuden sekä mittatarkkuuden.

Microstation DGN	Bentley Systemsin sekä Intergraphin kehittämä tiedon- siirtoformaatti. Tiedostoformaatti on käytössä Microsta- tion tuotteissa. Tiedostoformaatin uusin versio on DGN V8.
Oracle	Oracle on tietokantaratkaisu, jossa tieto tallennetaan loogisesti taulualueisiin sekä fyysisesti tiedostoihin. Tie- tokanta hallinnoidaan erilaisilla funktioilla kuten esimer- kiksi SQL-ohjelmointikielellä. Oracle tuotetta kehittää Oracle Corporation.
PostGIS	PostGIS on avoin tietokantaratkaisu paikkatietoa sisäl- tävän tiedon tallentamiseen sekä jakeluun. PostGIS tuotetta kehittää Refrations Research.
Rakennus	Rakennus on asumiseen, työntekoon, varastointiin tai muuhun käyttöön tarkoitettu kiinteä tai paikallaan pidet- täväksi tarkoitettu rakennelma, rakenne tai laitos.
SIG 3D	Special Interested Group 3D on Saksassa perustettu yhteisö, joka on erikoistunut kehittämään kansallisia sekä kansainvälisiä ohjelmistoja mallintamiseen sekä erityisesti tutkinut kolmiulotteista kaupunkimallintamis- ta.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle on radio-ohjattava miehittä- mätön lennokki, johon voidaan yhdistää digitaalikamera ilmakuvausta varten.

VTJ-PRT

Väestötietojärjestelmän yksilöllinen pysyvä rakennustunnuksen lyhenne on VTJ-PRT. Tunnuksessa on kymmenen merkkiä, joista yhdeksän ensimmäistä merkkiä on numeroita. Viimeinen kymmenes merkki on aakkosnumeerinen tarkistemerkki. Tunnus voi olla esimerkiksi muotoa 100012345 A.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan rakennetun ympäristön kolmiulotteista mallintamista mallintajan, ylläpitäjän sekä mallinnuksen loppukäyttäjän silmin. Opinnäytetyössä tunnistetaan kaksi toisistaan eroavaa asiaa rakentamisen mallintaminen sekä rakennusmallintaminen. Kolmiulotteista mallinnusta tarkastellaan Kuopion kaupungin henkilöstön sekä prosessien kautta. Opinnäytetyön tavoitteet ovat seuraavat:

- 1) Opinnäytetyön tarkoituksena on pohtia ja kehittää kolmiulotteista rakennustietomallinnusta ja tiedon keräämistä Kuopion kaupungissa olemassa olevan kansallisen Kaupunkimallinnuksen ohjekirjan, Suomen muiden kuntien käytäntöjen sekä kansainvälisen tiedon mukaisesti.
- 2) 3D-kaupunkimalli käsittää useita kartoitettavia osa-alueita kuten rakennukset, kasvillisuus, johtotiedot, tunnelit, sillat ja tieverkoston. Opinnäytetyössä tutkitaan vain kolmiulotteisen rakennustiedon keräämistä, mallintamista, ylläpitoa sekä yksilöintiä. Tarkoituksena ei ole perehtyä yksittäisen rakennuskohteen yksityiskohtien tarkkaan mallintamiseen vaan pohtia laajojen alueiden mallintamista.
- 3) Lopputuloksena opinnäytetyössä tulisi kuvata Kuopion kaupungin rakennustietomallinnuksen vaiheita ja tuottaa kuvaus ylläpitoprosessista. Ylläpitoprosessissa tulee huomioida olemassa olevat Kuopion kaupungin tiedonkeräämisen prosessit sekä resurssit. Kolmiulotteisen rakennustiedon kerääminen ja ylläpito tulisikin yhdistää mahdollisimman joustavasti nykyiseen Kuopion kaupungin tehtäväkenttään.

Opinnäytetyössä tulee pohtia ylläpitoprosessia resurssien, lakisääteisten kunnan tehtävien sekä taloudellisen näkökulman perusteella. Opinnäytetyö kerää kokemuseräisen tiedon Kuopion kaupungin tämän hetkisestä tilanteesta ja luo

henkilöstölle sekä opinnäytetyön tekijälle ymmärrystä kolmiulotteisen mallinnuksen tilanteesta Kuopion kaupungissa.

Opinnäytetyö on myös tutkimus, joka luo pohjaa tavoitteelle tuottaa Kuopion keskeiselle asemakaava-alueelle noin 30000 rakennuksen osalta rakennustietomallit. Opinnäytetyössä on vahvasti mukana Kuopion kaupungin henkilöstöä, joille tehdään myös kyselytutkimus kolmiulotteisten rakennustietomallien tarpeista. Opinnäytetyön ohjaajana toimii Kuopion kaupungin Paikkatietopalveluiden palvelupäällikkö Jari Torvinen.

2 LÄHTÖKOHDAT TUTKIMUKSELLE

2.1 Lähtökohtia

Kuopion kaupunki esitteli vuoden 2013 Maanmittauspäivillä Kuopion keskustan kolmiulotteisen kaupunkimallin. Kuopion keskustaan oli mallinnettu kolmiulotteiset rakennukset, maanpinta ja kasvillisuus fotorealistisena kokonaisuutena. – Vuoden 2013 keskustan kaupunkimalli luotiin ilmalaserkeilaus-, ortokuva-, sekä viistoilmakuva-aineistoista. (Kuopiokanava 2013)

Kuopion kaupungin suunnitteluosastot hyödyntävät varsin laajasti kolmiulotteista mallinnusaineistoa asemakaavoitus-, katu- ja virkistysaluesuunnitteluhankkeissa. Esimerkiksi valmisteilla olevien kaavahankkeiden havainnekuville hyödynnetään lähes poikkeuksetta kolmiulotteista kaupunkimalliaineistosta. Havainnekuvien kolmiulotteiset rakennusmallit tuotetaan edelleen vastaavalla tavalla kuin vuoden 2013 keskusta alueen kaupunkimallissa.

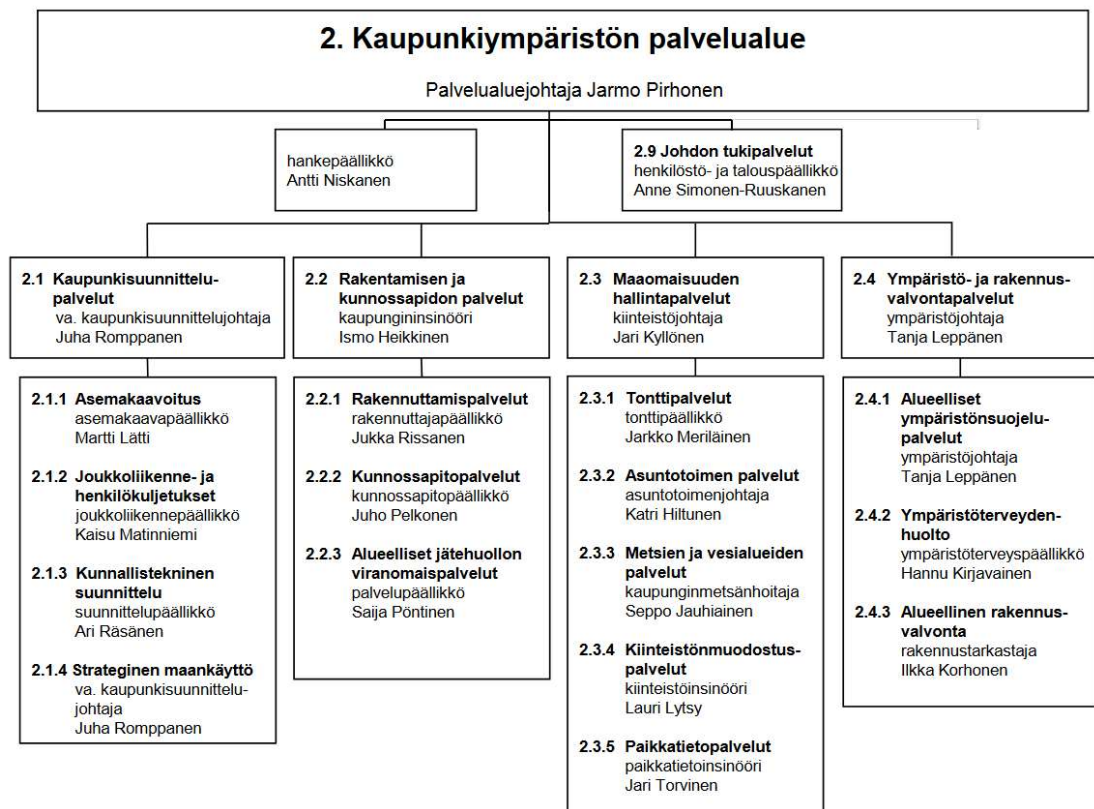
Valtakunnallisesti kaupunkimallinnuksen standardointi työtä on tehty vuodesta 2015 lähtien. Kolmiulotteisen kaupunkimallinnuksen koordinoitua työtä vetävät BuildingSMART Finland kaupunki työryhmä sekä kuntaliitto. Standardointi työn tuloksena on laadittu kansallinen Kaupunkimallinnuksen ohjekirja. (Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland 2016) Kaupunkimallinnuksen ohjekirjan lähtökohta tekniselle toteutukselle on CityGML 2.0 - tiedonsiirtoformaatti, joka on tarkoitus ottaa opinnäytetyössäni ensisijaiseksi tutkimusvaihtoehdoksi. (Hietanen, Kokko 2015, 1–2)

2.2 Prosessien kehittämisestä

Rakennus tietomallinnusprosessin kehittäminen koostuu kolmesta osatehtävästä. Ensimmäisessä vaiheessa täytyy tunnistaa olemassa olevat Kuopion kaupungin prosessit. Seuraavassa vaiheessa täytyy arvioida olemassa olevien prosessien mahdollisuuksia. Kolmannessa vaiheessa mietitään olemassa olevien prosessien kehittämistä tai täysin uusien prosessien luontia. (Sahi 2005)

Opinnäytetyössä tutkitaan rakennusluvan, asemakaavan pohjakartan laatimisen sekä suunnitteluhankkeiden yhteydessä kerättävää rakennustietoa. Rakennustietoa kootaan Kuopion kaupungin Kaupunkiympäristön palvelualueen eri prosesseissa. Kaupunkiympäristön palvelualue vastaa kaupunkiympäristön kunnossapidosta, rakentamisesta sekä kaavoittamisesta. (Kuvio 1) Palvelualue on jaettu neljään vastuualueeseen. (Kuopion kaupunki 2017b, 1) Vastuualueen työyksiköille on määritelty päätehtävät, jotka on kuvattu prosessikuvauksissa sekä Kaupungin yhteisessä työprosesseja kuvaavassa toimintakäsikirjassa. (Kuopion kaupunki 2017k)

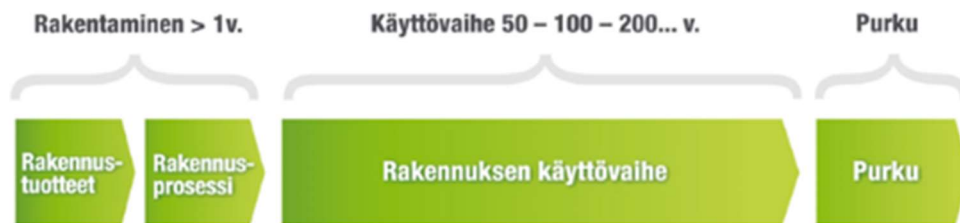
Kuopion kaupungin paikkatietopalveluiden toimintakäsikirjasta selviää, että yksikön perustehtävä on tuottaa lakisääteinen ajantasainen pohjakartta asemakaavoitukselle sekä tuottaa muuta kartta-aineistoa ja karttapalveluita asiakkaiden tarpeita ajatellen. (Torvinen 2017, 1) Toimintakäsikirjassa selviää, että prosessikuvaukset pidetään ajan tasalla seuraamalla lainsäädännön muutoksia sekä toimintatapamuutoksia. (Torvinen 2017, 5)



Kuvio 1. Kaupunkiympäristön palvelualueen työyksiköt

2.3 Rakennuksen elinkaari

Rakennustietomallia voidaan verrata rakennuksen elinkaareen. (Kuvio 2) Rakennuksen elinkaari alkaa rakentamisen tarpeesta. Suunnitteluvaiheessa määritetään rakennuksen yksityiskohtia ja osittain päätetään jo elinkaaren pituus rakenteellisilla suunnitteluratkaisuilla. Suunnittelun jälkeen toteutetaan rakennuksen fyysinen rakentaminen. Yleensä rakennuksen elinkaaren pitkäikäisin vaihe on rakennuksen käyttövaihe, joka voi kestää vuodesta satoihin vuosiin. Rakennuksen elinkaari päättyy rakennuksen purkamiseen. (Asuntotieto 2017)



Kuvio 2. Rakennuksen elinkaari (Rakennusteollisuus RT ry)

Rakennustietomallin elinkaari alkaa rakentamisen suunnittelusta ja jatkuu rakentamisen jälkeen rakennuksen käyttövaiheeseen. Rakennuksen käyttöönottovaiheessa tietomallista käytetään termiä rakennuksen ylläpitomalli. Rakennustietomallia ei ole tarkoitus tuhota purkamisvaiheessa vaan rakennusrekisteritiedoista siirretään rakennuksen ylläpitomallille tieto purkamispäivämäärästä. Purrettujen rakennusten säilyttäminen mahdollistaa alueen menneisyyden tarkastelun tulevaisuudessa.

2.4 Rakennuksen sijaintitiedon keräämisen lakisääteiset perusteet

Rakennustiedon kerääminen sekä ylläpito perustuu kahteen kunnalliseen lakisääteiseen tehtävään. Kunnan hallinnoima kaavoitusprosessi määrittelee alueiden käytön tavoitteet sekä tarpeet. Kunta vastaa alueiden käytön suunnittelusta, rakentamisen ohjauksesta sekä valvonnasta. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 2:20;1 §)

Asemakaavoituksen tarkoituksena on osoittaa yksityiskohtaisesti alueen rakentuminen paikallisten tarpeiden mukaisesti. Asemakaavan lähtötilanne perustuu valitsevaan tilanteeseen alueella. Alueelle laaditaan ajantasainen maastotilannetta kuvaava asemakaavan pohjakartta. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 7:50;1 §; Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 7:54a;1 §)

Asemakaavan pohjakartan tietosisältö perustuu 2.5.2014 julkaistuun Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunnan julkaisemaan suositukseen Asemakaavan pohjakartan laatimisesta. Suosituksessa kuvataan asemakaavan pohjakartan mittausluokat, jotka määrittävät kartan tarkkuutta. Suositukset kirjaavat laatuvaatimuksena myös kartan mittausluokan, ajantasaisuuden sekä sijaintitarkkuuden. (Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2014a, 4–8.) JHS 185 liitteessä 2 kuvataan asemakaavan pohjakartan kohdetietomalli, jossa yhtenä osa-alueena on rakennetuista tiloista kartoitettavat sijainnilliset kohteet. (Taulukko 1)

	Vesikohde	tyyppi= alue	piste
Rakennetut tilat	Rakennus	tyyppi='käyttötarkoitus'	alue
	Rakennuksen Osa	tyyppi='kerrosraja'	viiva
	Rakennuksen Osa	tyyppi='sisennys'	viiva
	Rakennuksen Osa	tyyppi='uloke'	viiva
	Rakennuksen Osa	tyyppi='harjaviiva'	viiva
	Rakennuksen Osa	tyyppi='ajoluiska'	viiva
	Rakennelma	tyyppi='kasvihuone'	alue / viiva
	Rakennelma	tyyppi='katos'	alue / viiva
	Rakennelma	tyyppi='kivijalka'	alue / viiva
	Rakennelma	tyyppi='muu käyttö'	alue / viiva
	Maanalainen Tila		viiva
	Maanalaisen Tilan Osa		viiva
Rakenteet	Rakenne	tyyppi='aita'	viiva
	Rakenne	tyyppi='tukimuri'	viiva

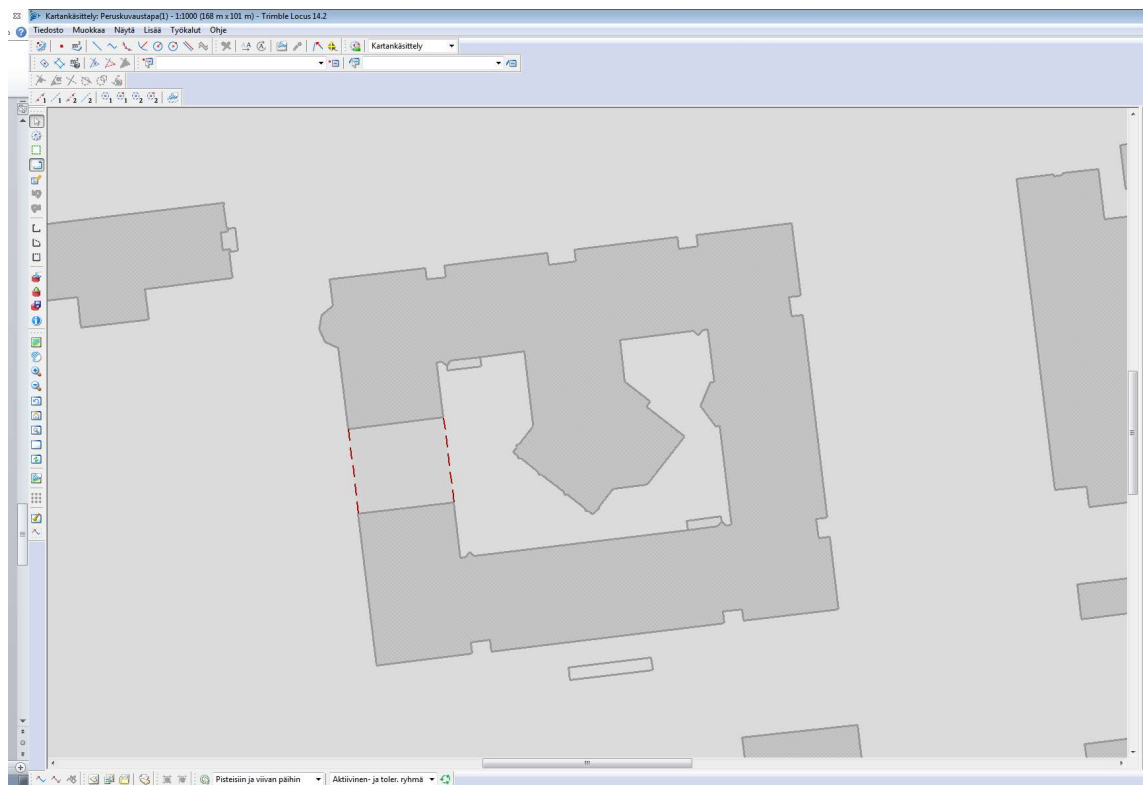
Taulukko 1. Rakennetut tilat kohteiden tietomallikuvaus KuntaGML-tietomallissa (Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. 2014a, 5)

Kunnan rakennusvalvonta viranomaisen huolehtii rakentamisesta, rakennusluvien käsittelystä sekä valvoo rakennetun ympäristön kunnossapitoa. Rakennusluvassa voidaan määrätä, että kunta käy merkitsemässä rakennuksen paikan sekä korkeusaseman maastoon. Rakennusluvassa voidaan määrätä tehtäväksi myös rakentamisen jälkeinen sijaintikatselmus, jossa todetaan rakennuksen lopullinen sijainti. Sijaintikatselmusten tietoa hyödynnetään asemakaavan poh-

jakartan rakennusten sijaintiedon ylläpidossa. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999 20:149 b §.)

2.5 Rakennuksen sijaintitiedon kerääminen Kuopiossa

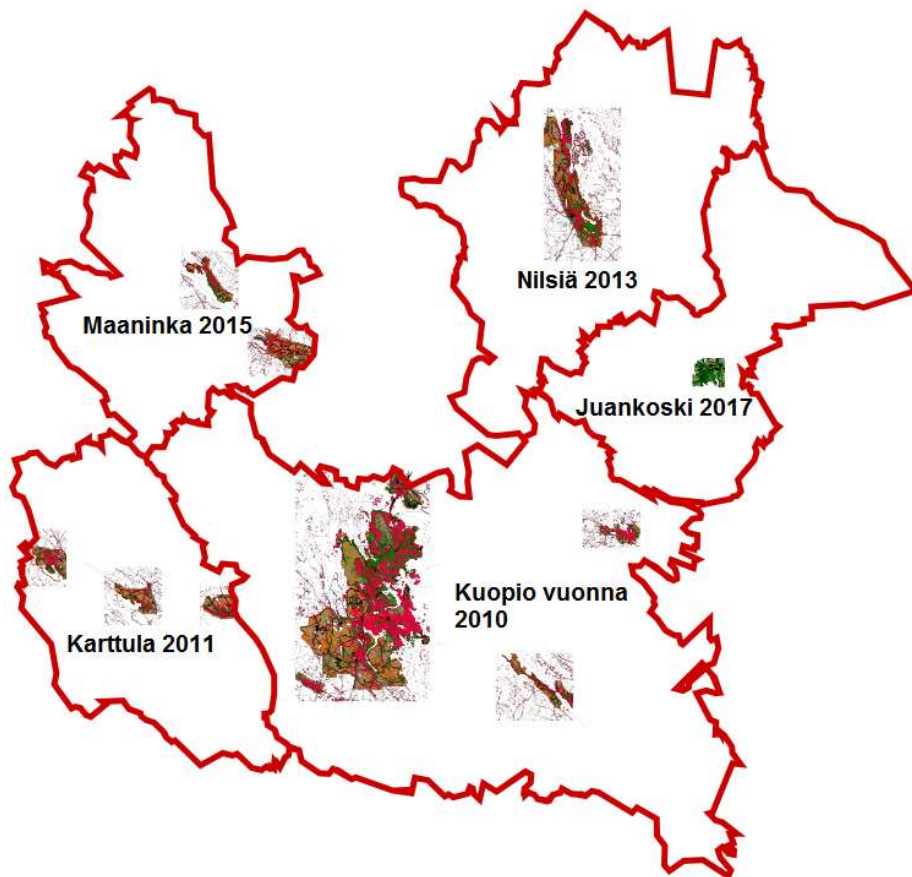
Kuopiossa rakennustietoa kerätään rakennusluvan yhteydessä tehtävillä rakennusvalvontamittauksilla. Rakennuksen sijaintikatselmuksessa tarkastetaan maastomittauksena rakennuksen seinälinja, mahdolliset terassit, katokset sekä rakennuksen ensimmäisen kerroksen sisennykset eli sisäänvedot. (Kuvio 3) Sijaintikatselmuksen yhteydessä tarkastetaan myös rakennuksen lattiakorkeus. Rakennuksen lattiakorkeus mitataan yleensä rakennuksen etuoven kynnyskorkeutena. (Kuopion kaupunki 2016c) Kartoitus suoritetaan maastomittauksena takymetri mittalaitteella. Aikaisemmin takymetrin orientoinnin lähtöpisteinä hyödynnettiin Kuopion keskustan monikulmiopisteverkkoa, mutta nykyisin lähtöpistetiedot annetaan GPS-RTK-mittalaitteella. (Lappalainen H, Rosenberg S.)



Kuvio 3. Sijaintikatselmuksia Trimble Locus maastotietojärjestelmässä

Kuopion alueella tapahtuneista kuntaliitoksista johtuen rakennusvalvonnan vastuualue on kasvanut vuosien 2005–2017 aikana merkittävästi. (Kuvio 4) Kuopion kaupungin pinta-ala vuonna 2017 on 4320 neliökilometriä, joista vesialuetta on noin yli tuhat neliökilometriä. (Kuopio kaupunki 2017j, 4) Kaupungin kasvanut pinta-ala on vaikuttanut siihen, että rakennusten sijaintikatselmusten tekemiseen on etsitty uusia mittaustapoja. Vuonna 2013 Rovaniemen Ammattikorkeakoulun opiskelija tutki opinnäytetyössään ilmalaserkeilausaineiston hyödyntämistä Kuopion kaupungin rakennusvalvontamittauksissa. Tutkimuksessa verrattiin takymetrillä tehtävän räystäs- sekä seinämittauksen tarkkuutta, ilmalaserkeilausmenetelmän räystäsmittaus tarkkuuteen. (Ylipulli 2013.)

Mikko Ylipullin tekemän vertailevan tutkimuksen perusteella asemakaavan pohjakartan rakennuskohteita onkin kartoitettu kuntaliitosalueilla, kuten Nilsin ja Maaningan keskustassa. Ilmalaserkeilausta ei ole kuitenkaan hyödynnetty Kuopion keskeisellä kaava-alueella, johon opinnäytetyöni tutkimus keskittyy.



Kuvio 4. Kuntaliitokset vuosina 2011–2017 sekä asemakaavan pohjakartta-alueet

2.6 Muiden kuntien esimerkkejä ja tutkimuksia

Useassa kaupungissa on laadittu ilmalaserkeilaukseen, ilmakuvaperusteiseen stereodigitointiin tai UAV-ilmakuvaukseen perustuvia kolmiulotteisia rakennusmalleja. Erilaisia ratkaisuja rakennusmallien toteutukseen löytyy muun muassa Espoosta, Kajaanista, Tampereelta sekä Helsingistä.

Helsingin kaupunki toteuttaa paraikaa kolmivuotista 3D-tietomallinnushanketta, jonka lopputuotteena tehdään 3D-kaupunkitietomalli koko kaupungin alueelta. Kaupunkitietomalli perustuu avoimen lähdekoodin CityGML-tiedonsiirtoformaattiin. (Helsingin kaupunki 2016b, 6.) Helsingin kaupunkimalli ei ole pelkästään visuaalisesti tarkkamalli vaan rakennuksiin on yhdistetty rakennuskohtaisia ominaisuustietoja. (Kuvio 5) Ominaisuustietoihin yhdistetystä kaupunkimallista käytetään yleisesti termiä semanttinen kaupunkimalli. (Helsingin kaupunki 2016b, 8.)



Kuvio 5. Rakennustietomallin ominaisuustietoja

Tampereen kaupunki on laatinut kaupunkimallin Microstation dgn-tiedostoina, jotka eivät sisällä ominaisuustietoja. Tampereen 3D-kaupunkimalli on jatkuvasa ylläpidossa. Mallinnus perustuu vuosina 2011–2013 tehtyihin ilmalaserkeilauksiin. Tampereen kaupunki on julkaisut aineiston avoimen lisenssin alaiseksi aineistoksi. (Tampereen kaupunki 2017a, 2–3.)

Espoon kaupunki tuottaa omaa kaupunkimalliaan siitä näkökulmasta, että kaupunkimalli tuotetaan olemassa olevassa tietojärjestelmässä, pitkälti olemassa olevien aineistojen pohjalta. Espoon kaupungin kantan kartan ylläpitojärjestelmänä toimii Trimble Locus ohjelmisto, jossa pystytään tuottamaan kaksikulotteisen rakennuksen seinälinjatiedon sekä stereodigitoitujen räystääslinjaviivojen avulla kolmiulotteinen rakennusmalli. Rakennuskohde tunnistaa myös rakennusluvan rekisteritietoja. Aineiston ylläpito on jatkuvaa. (Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland 2016, 11.)

2.7 Rakennustietomallinnus Euroopan kaupungeissa

Useat kaupungit Euroopassa ovat ottaneet käyttöön CityGML-standardiin perustuvan kaupunkimallin, jonka käyttäjälle näkyvin kohde on rakennus. Esimerkkejä löytyy useista maista kuten Hollannista, Saksasta sekä Ranskasta.

```
<cityObjectMember>
  <bldg:Building gml:id="BLDG_000300020012c27b">
    <gml:name>BLDG_000300020012c27b</gml:name>
    <bldg:roofType>1130</bldg:roofType>
    <bldg:boundedBy>
      <bldg:RoofSurface gml:id="GEOM_442840">
        <bldg:lodMultiSurface>
          <gml:MultiSurface srsName="EPSG:25833" srsDimension="3">
            <gml:surfaceMember>
              <gml:Polygon gml:id="fme-gen-6ea27180-da35-11e6-815d-067b693838a7">
                <gml:exterior>
                  <gml:LinearRing gml:id="fme-gen-6ea27180-da35-11e6-815d-067b693838a7_0">
                    <gml:posList>390207.258381775 5819840.61072624 51 390204.629346632 5819870.05683003 51 390197.647255555
                  </gml:LinearRing>
                </gml:exterior>
              </gml:Polygon>
            </gml:surfaceMember>
          </gml:MultiSurface>
        </bldg:lodMultiSurface>
      </bldg:RoofSurface>
    </bldg:boundedBy>
  </bldg:Building>
</cityObjectMember>
```

Kuvio 6. Berliinin rakennustietomallista poimittu CityGML 1.0-tiedosto (Berliinin kaupunki 2017b)

Saksan pääkaupunki Berliinistä on laadittu kolmiulotteinen kaupunkimalli, jossa jokainen rakennus yksilöityy CityGML-tietomallin mukaiseksi rakennuskohteeksi. (Kuvio 6) Rakennuskohteet on myös rasteroitu seinä- sekä kattopintojen osalta rasteritekstuureilla. Kaupunkimalli kattaa noin 900 neliökilometrin alueen. Alueella on noin 555 000 rakennuskohdetta. (Berliinin kaupunki 2017a.)

2.8 Kaupunkimallin tärkeimmät käyttökohteet kunnan tehtävissä

Käyttökohteita kaupunkimallille on nähtävissä useita. Yleinen tapa lähestyä kaupunkimallinnusta on suunnitteluhankkeiden kolmiulotteiset havainnekuvat, joilla kaupunkisuunnittelunhanke voidaan visualisoida olemassa olevaan kaupunkiympäristöön. (Kuvio 7) Mallin tarkoitus on havainnoida alueen muuttumista sekä päättävälle viranomaisille, että alueen asukkaille. 3D-kaupunkimallia voidaan hyödyntää melu- ja näkyvyys-, aurinkoenergia- sekä tulvaselvityksissä. Kaupunkimallia voidaan hyödyntää asuinalueen markkinoimisessa tai kiinteistönvälityksessä. (Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland 2016, 7.)



Kuvio 7. Havainneaineisto Kuopion kaupungin Yötarhantien kaavahankkeesta

3 KAUPUNKIMALLINNUKSEN OHJEISTUKSIA

3.1 Kansallinen kaupunkimallinnuksen ohjekirja

BuildingSMART Finland kaupunki työryhmä sekä Kuntaliitto ovat laatineet vuodesta 2015 lähtien 3D-kaupunkimallinnuksen standardointia. Standardointi työn tuloksena on laadittu kaupunkimallinnuksen ohjekirja. Kaupunkimallinnuksen ohjekirjan tarkoituksena on koota Euroopassa sekä Suomessa hyväksi havaitut mallinnustavat kansalliseksi kaupunkimallinnus suositukseksi. (Hietanen & Kokko 2015, 1–2)

3.2 CityGML-tietomallikuvaus

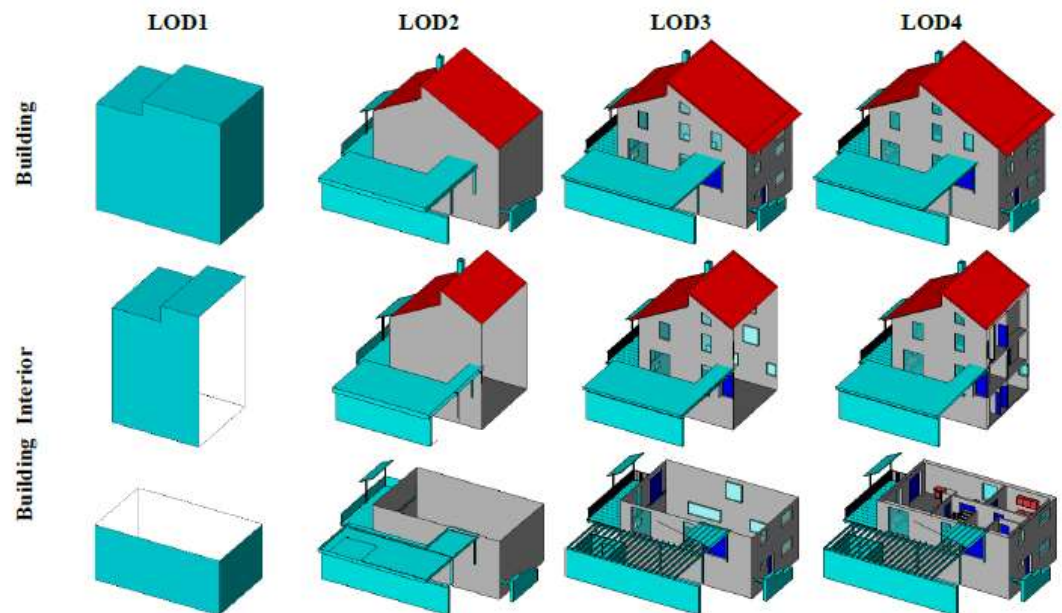
Kaupunkimallinnuksen ohjekirjassa todetaan, että ”Kaupunkimallin tuottamisen kannalta keskeisin tiedonsiirtomuoto (formaatti) ja samalla standardi on CityGML (City Geography Markup Language).”, josta CityGML versio 2.0 on julkaistu vuonna 2012. Sen julkaisua hallinnoi kansainvälinen Open Geospatial Consortium yhteisö. (Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland 2016, 5) Open Geospatial Consortium on vuonna 1994 perustettu yhteisö, joka keskittyy tietomallien ja sähköisten tiedostomuotojen maailman laajuiseen standardointiin. Open Geospatial Consortium internetsivuilla on dokumentoitu CityGML 2.0 -tietomallikuvaus. (Open Geospatial Consortium 2012) Alkuaan CityGML -tietomallin ensimmäisen version laati saksalaista perustaa oleva kansainvälinen työryhmä Special Interested Group 3D. Special Interested Group 3D työryhmällä on edelleen vahva rooli CityGML -tietomallin kehittämisessä (Open Geospatial Consortium 2017; Special Interested Group 3D 2017).

CityGML 2.0 -tietomalli koostuu moduuleista, joilla erotetaan kaupunkimallin kohteet. Moduulit ovat rakennetun ympäristön osia, joista kaupunkimalli on koostettavissa. CityGML 2.0 tietomalli määrittelystä löytyvät seuraavat moduulit:

- CityGML Core (CityGML-tietomallirakenteen ydin)
- Appearance (Ulkoasun määrittely)
- Bridge (Silta)
- Building (Rakennus)
- CityFurniture (Kalusteet)
- CityObjectGroup
- Generics (Käyttäjän määrittämät ominaisuudet)
- LandUse (Maankäyttö)
- Relief (Maastomalli)
- Transportation (Liikenne)
- Tunnel (Tunneli)
- Vegetation (Kasvillisuus)
- WaterBody (Vesialue)
- TexturedSurface (Teksturoidut vektoripinnat)

(Open Geospatial Consortium 2012, 17)

Rakennustietomalleille on määritetty oma Building moduuli. Building tietomallimoduuli mahdollistaa rakennuksen mallintamisen eri tarkkuustasoilla eli Level of Detail tasoilla. Tarkkuustasot CityGML 2.0 -tietomalli rakenteessa kuvataan tasoina LOD0 - LOD4. (Kuvio 8)



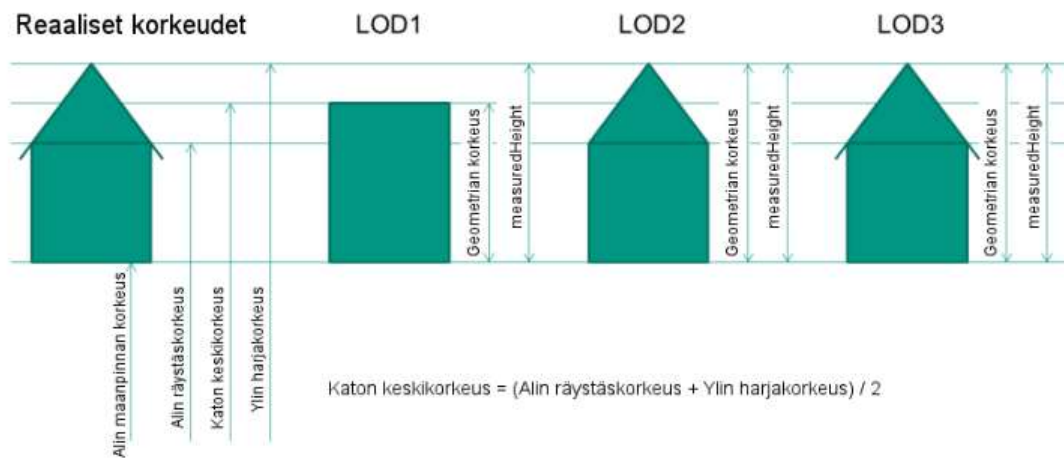
Kuvio 8. Level of Detail tarkkuustasot

LOD0-tason rakennuskohde näytetään kaksikulotteisena kivijalka- ja kattopintana, jolla voi olla korkeustieto, mutta korkeutta ei mallinneta. LOD1-tarkkuustasosta ylöspäin rakennusmalliin luodaan kolmiulotteisista pinnoista, joista muodostuu rakennuksen kuorimalli gml:Solidtype. (Open Geospatial Consortium 2012, 63.)

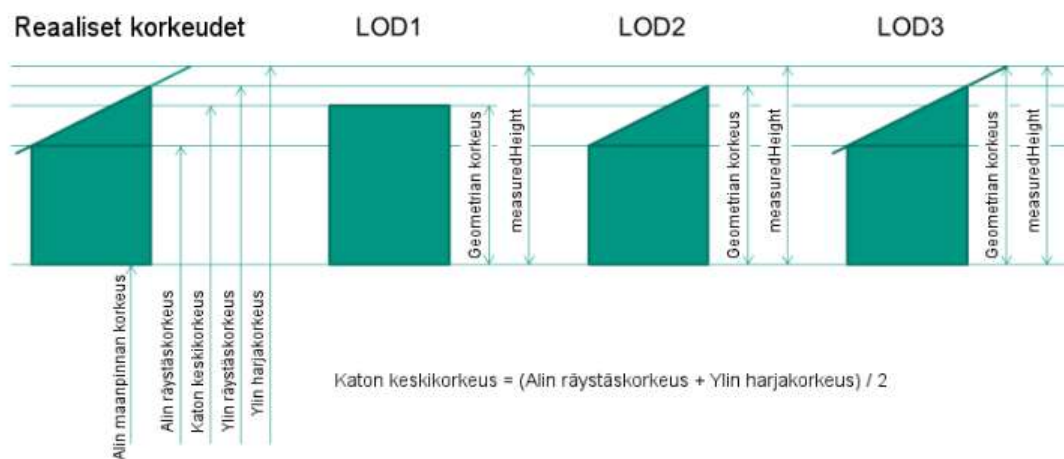
3.3 CityGML-rakennusmoduulin ominaisuuksia

LOD2 - LOD4 -tarkkuustasoilla kattopintojen korkeusasema mallinnetaan todelliseen korkeusasemaan. CityGML 2.0 -skeemarakenteessa korkeustieto kirjataan pääosin ominaisuustiedolla measuredHeight. Rakennuksen geometriaa voidaan ohjelmallisesti pelkistää esimerkiksi LOD2-tasolta LOD1-tasolle. (Kuvio 9) Rakennuksen katon keskikorkeus lasketaan pelkistyksessä kaavalla: harjan

korkein kohta - katon matalin kohta jaettuna arvolla kaksi (Special Interested Group 3D 2014, 7).



Alla olevat korkeudet ovat voimassa kaikenlaisille pulpettikatoille, eritasopulpettikatoille, ja tietyissä tilanteissa sahakatoille:



Kuvio 9. Rakennuksen korkeuden määrittäminen eri LOD-tasolla

CityGML 2.0 -skeemassa on määritelty myös rakennuksen ominaisuuksiin liittyviä tietoja. Rakennukselle on mahdollista antaa tietoa seuraavista ominaisuuksista:

- bldg:function (Käyttötarkoitus)
- bldg:yearOfConstruction (Valmistumisvuosi)
- bldg:yearOfDemolition (Purkamisvuosi)
- bldg:roofType (Kattotyyppi)
- bldg:storeysAboveGround (Rakennuksen maanalaisten kerrostenmäärä)
- bldg:storeysBelowGround (Rakennuksen maanpäällisten kerrostenmäärä)
- bldg:address (Rakennuksen osoite)

Rakennuksen käyttötarkoitukselle sekä kattotyypille on olemassa valmiit listaukset käytettävistä ominaisuuksista (Special Interested Group 3D 2014,16–17). Rakennuksen käyttötarkoituksen ominaisuuslista ei ole käyttökelpoinen, sillä lista ei sisällä Suomessa kansallisessa käytössä olevaa Tilastokeskuksen käyttötarkoituseräluokitusta. (Tilastokeskus 2016)

3.4 Rakennuksen geneeriset ominaisuudet

Rakennukselle voidaan lisätä käyttäjän määrittelemiä geneerisiä ominaisuuksia. Special Interested Group 3D suosittelee käytettäväksi vain sellaisia geneerisiä ominaisuuksia, joille ei ole valmista kenttää CityGML-skeemassa. Tietokenttätyppeinä tuetaan muun muassa tekstimuotoista-, numeerista- sekä päivämäärätietoa. Lisäksi on mahdollista lisätä internetlinkkejä URL-viittauksena. Ongelmana geneeristen tietojen lisäämisessä on, että tiedon hyödyntäjän täytyy tunnistaa kenttien tarkoitus. Käytännössä tiedon tuottajalla pitää olla erillinen tietokenttäkuvaus geneerisistä ominaisuuksista. (Special Interested Group 3D 2014,14.)

3.5 CityGML-validointi

CityGML-kohteiden validoinnilla tarkoitetaan sitä, että noudattaako GML-tiedoston rakenne sekä ominaisuudet CityGML -skeeman määrittymiä. Validoin-

tityypit voidaan jakaa kuuteen eri kategoriaan, joista pääasiallisesti tärkeimmät ovat xml-rakenteen noudattaminen, geometrinen yhteensopivuus sekä semanttisten osien noudattaminen. (3D Geoinformation group at TU Delft 2017)

CityGML-tiedoston XML-rakenne täytyy olla eheä, jotta ohjelmistot osaavat lukea tiedostoa. Pienetkin muotovirheet voivat aiheuttavat XML-tiedoston lukukelvottomuuden. CityGML-tiedoston täytyy sisältää XML-deklaraatio, jossa listataan XML-tiedoston versio sekä käytössä oleva merkistön koodijärjestelmä. (Words of Wisdom Finland 2011) CityGML 2.0 XML-versio on 1.0. Tiedoston merkistönkoodijärjestelmänä tulee käyttää UTF-8 kirjastoa. XML-tiedostossa täytyy myös viittaus skeema määrittystiedostoihin. (Open Geospatial Consortium 2014, 193.)

Rakennusten geometrian täytyy perustua LOD2-tarkkuustasolla gml:solid pintoihin tai bldg:boundedBy viittauksiin. Edellä olevat vaatimukset pitää täytyä tiedoston validoinnin yhteydessä. (Special Interested Group 3D 2014, 19–20) Aineiston toimivuuden kannalta myös aineiston semantiikkaan täytyy kiinnittää huomiota. Rakennuksen kattopinta on määriteltävä GML-tiedostossa RoofSurface arvolla ja seinäpinta arvolla WallSurface. (3D Geoinformation group at TU Delft 2017)

CityGML-tiedoston validointia varten on olemassa erilaisia ohjelmia sekä internetsivustoilla toimivia selainpohjaisia validointityökaluja. Tässä työssä hyödynnetään CityDoctoria, joka on ladattavissa ilmaiseksi rekisteröitymisen jälkeen. CityDoctor ohjelmalla pystytään tutkimaan rakennuskohteiden tiedoston XML-rakennetta, geometriaa sekä semanttisia arvoja ja tulostamaan virheraportin. (Casper E 2017)

4 RAKENNUSMALLINTAMISEN LÄHTÖAINEISTO

4.1 Rakennus mallintamisen lähtöaineistoja

Tässä luvussa kuvataan kaupunkimallintamisen lähtöaineistoja, joiden avulla mallinnetaan kolmiulotteisen rakennuksen geometriaa, visualisoidaan rakennuksen seinä- ja kattopintoja sekä listataan rakennuksen rekisteritietoa. Lähtöaineistoihin on poimittu Kuopion kaupungin prosesseissa syntyviä tietoaineistoja sekä kaupunkimallinnuksen ohjekirjan suosittelemia lähtöaineistoja. (Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland 2016)

4.1.1 Laserkeilausaineisto

Ilmalaserkeilausaineistolla tarkoitetaan pistejoukkoa, jossa jokainen laserpulssi tietää taso- sekä korkeussijaintinsa aineistoon asetettuun koordinaatistoon nähden. Usein pisteaineistosta käytetään termiä englannin kielistä termiä lidar, joka vapaasti suomennettuna termi tarkoittaa pistepilveä. Yksittäinen laserkeilauspiste voi tietää lentojonolinjan numeroinnin, lähtöpulssin aikaleiman, intensiteettiarvon sekä mahdollisesti pisteluokka numeron sekä muita lisätietoja. (Maanmittauslaitos 2017c.)

Taulukko 2. Tarjouspyyntöasiakirjan vertaus JHS185 suositusten mittausluokkaan (Kuntaliitto 2016)

Mittausluokka	pistettä/m ² nadiirissa	[Ilmakuvien]/ [ortokuvien] GSD (cm)	RMSZ	Jalan- jälki	Hyötyavaus- kulma astetta, max
1e / maasto- malli	20	5	5 cm	15 cm	40
1	15	10	5 cm	25 cm	40
2	10	15	10 cm	30 cm	60

Kuopion kaupungin ilmalaserkeilausaineistot on kerätty vuosina 2004, 2007, 2009 sekä 2012. (Kuopio kaupunki 2017c) Ilmalaserkeilausaineiston tarkkuus sekä laatu on määritetty Kuntaliiton tarjouspyyntöasiakirjojen perusteella (Kuntaliitto 2016). Tarjouspyyntöasiakirjojen tarkkuus vaatimuksena käytetään asemakaavan pohjakartan mittaussuokkia. (Taulukko 2) Kuntaliiton tarjouspyyntötaulukon mukaan Kuopion ilmalaserkeilausaineistot täyttävät mittaussuokan 1 vaatimukset pistetiheyden osalta. (Kuopion kaupunki 2017h; Taulukko 2)

4.1.2 Ilmakuva-aineisto

Ilmakuva on ilmasta käsin otettu valokuva. Nykyisin ilmakuvat ovat lähes poikkeuksetta digitaalisia ilmakuvia. Ortokuva on ilmakuva, jossa ilmakuvasta on poistettu kuvauksen kulmavirhe. Ortokuvan jokainen kuvapistee kuvataan suoraan ylhäältä päin. Ortokuva tuotetaan kuvamosaiikkista, johon jokaiselta ilmakuvasta leikataan vain kulmavirheeltään vähäisin ilmakuvan keskiosa. Lopullinen ortokuva projisoidaan tunnettuun karttaprojektioon ilmakuvilta löytyvien tunnettujen lähtöpisteiden avulla. (Lantmäteriet 2015, 3 ja 5–6.)

Kuopion kaupunki on suorittanut ilmakuvauksia keskustan kaava-alueella vuosina 1999–2014. Kuopion ilmakuvien yleinen maastoerottelukyky on kymmenen senttimetriä. Ilmakuvausalueet eivät jokaisen vuoden osalta kata täysin koko Kuopion keskustan asemakaavoitettua aluetta. Kuopion kaupungin ylläpitämästä ilmakuvaindeksistä selviää, että uusin ilmakuvaus kesältä 2014 kattaa keskustan kaava-alueen suurelta osin. (Taulukko 3.)

Taulukko 3. Kuopion kaupungin ilmakuvaindeksi

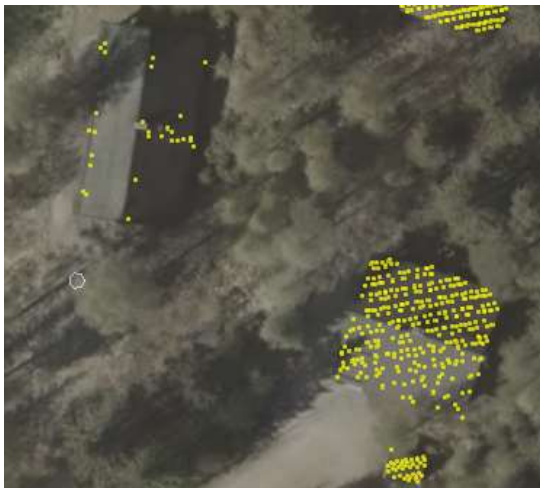
Ilmakuvausvuosi	Tyyppi	maastoerottelukyky (metreinä) (GSD-luku)
1999	ilmakuva	0.25
2006	ilmakuva	0.1
2007	ilmakuva	0.1
2008	ilmakuva	0.1
2009	ilmakuva	0.1
2010	ilmakuva	0.1
2012	ilmakuva	0.1
2013	ilmakuva	0.1
2014	ilmakuva	0.1

4.1.3 Viistokuva-aineisto

Kuopion kaupunki on kuvannut vuosina 2006–2014 viistoilmakuvia, jossa ilma-kuvaus suoritetaan viiteen eri suuntaan yhtäaikaaisesti. Näin ollen jokaisesta kuvanottokohdasta tulee yhtäaikaaisesti ilmakehän lentokoneen kulkusuuntaan nähden suoraan alaspäin, vinosti eteenpäin, vinosti taaksepäin ja kummallekin sivulle. Viistokuvien kamerakulma on ollut noin 45 astetta lentokoneen runkoon nähden. Viistokuvaukset on suorittanut Blom kartta Oy. Ilmakuvien maastoerotelukyky on ollut vuosina 2008–2014 pystykuvan osalta kymmenen senttimetriä. Viistokuvauksen tarkkuudet vaihtelevat välillä 8–10 senttimetriä. (Blom kartta 2017.)

4.1.4 Maanmittauslaitoksen aineistot

Maanmittauslaitos luovuttaa ilmalaserkeilausaineistoa avoimen tietoaineisto Creative Commons 4.0 lisenssin perusteella tiedoston latauspalvelussaan. (Maanmittauslaitos 2017a) Laserpisteaineiston pistetiheys on keskimäärin puoli pistettä per neliö. Korkeustarkkuudeksi luvataan viisitoista senttimetriä. Aineiston tasotarkkuudeksi yksikäsitteisille kohteille luvataan 60 senttimetriä. (Narinen 2014, 25.) Maanmittauslaitoksen ilmalaserkeilausaineistoa hyödynnetään lisäpisteinä rakennuksissa, joiden kattopinnalta ei ole heijastanut tarpeeksi pisteitä Kuopion kaupungin omasta laserpisteaineistosta. (Kuvio 10)



Kuvio 10. Tumma kattopinta, josta ei heijastu laserpulssi

4.1.5 UAV lennokka- ja kopterikuvaus

Viime vuosina on miehittämättömien pienlennokkien ja kopterien käyttäminen ilmakuvauksissa lisääntynyt merkittävästi. Lennokkikuvaukset voidaan jakaa harrastelija kuvauksiin sekä ammattimaiseen ilmakuvaukseen. Harrastelija käytössä voidaan käyttää termiä lennokka. Ammattimaisessa käytössä lennokista käytetään termiä radio-ohjattava ilma-alus. (Hassinen, 7.)

UAV lennokkikuvauksen peruseräite on varsin sama kuin lentokoneesta tehtävän ilmakuvauksen. UAV lennokka kuvaa lentosuunnitelman mukaisen alueen. Kuvauksen aikana jokaiselle kuvalle tallentuu GPS-sijainti, aika sekä lennokin kallistuskulmatieto. Kuvista voidaan prosessoida kolmiulotteinen korkeusmalli, jonka jokaisen kuvapikselin sijainti tunnetaan kuvajoukkoon nähden. Lennokilla saatava sijaintitarkkuus maantieteelliseen koordinaatistoon nähden on noin viiden metrin luokkaa, mutta mittaamalla ilmakuvauksalueelle tukipisteitä voidaan päästä muutaman sentin tarkkuuteen. (Hassinen 2016, 64–65.)

Kuopion kaupunki testasi vuonna 2016 maaliskuussa UAV helikopterikuvauksena tuotettua korkeusmallia sekä pistepilveä. Kuopion Maljalahdessa kuvattiin lennokilla hehtaarin alue, josta Tasamitta Oy tuotti tarkan ortokuvan sekä pistepilviaineiston. (Tasamitta Oy 2016) Kuopion kaupungin paikkatietopalveluiden testauksen mukaan korkeusmallin sijainti- sekä korkeustarkkuus on lähellä GPS-RTK-mittalaitteella tehtyjä tarkepisteitä. Lennokkikuvauksen pistepilviaineisto voidaan luokitella vastaavin keinoin kuin laserpisteaineisto. UAV-lennokkikuvauksen pistepilviaineisto voidaankin tarkkuuden osalta verrata ilma-laserkeilauksen pistepilviaineistoon.

4.1.6 Kantakartan rakennustieto

Kantakartalla näkyvää rakennus seinälinjatietoa voidaan hyödyntää kolmiulotteisen rakennusmallin seinää rajaavana elementtinä. Kuopion keskustan kantakartan rakennukset on yhdistettävissä myös rakennusrekisteritietoihin Kuopion Facta kuntarekisterin pysyvän rakennustunnuksen perusteella. (Lappalainen H,

Rosenberg S 2017) Kuopiossa kantakartan rakennuksen seinälinjatiedon kartoitusta on tehty systemaattisesti 1980-luvulta lähtien. Mittaustarkkuusrajana on keskustan kaava-alueella pidetty seitsemää senttimetriä. Tämä tarkkuus täyttää JHS 185 suositusten tarkkuusvaatimuksen mittaussluokassa 1. (Lappalainen H, Rosenberg S 2017; Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2014b.)

Kantakartan seinälinjan mittaustarkkuus ei ole suoraan verrannollinen CityGML:ssä määritettyihin tarkkuuksiin, johtuen kolmiulotteisesta tietomallista. CityGML 2.0 -standardiin on määritelty rakennusmallin vain absoluuttisia kolmiulotteisia tarkkuuksia. (Taulukko 4.) LOD2-tason rakennuksen tarkkuustoleranssi on tasossa sekä korkeudessa kaksi metriä. LOD3-tasotarkkuudessa kaikkien kohteiden osalta on vastaavasti puoli metriä. LOD2-tason tarkkuudet saattavat kuulostaa epätarkoilta ja helpoilta saavuttaa, mutta mallinnuksessa täytyy huomioida rakennuksessa olevat katosten, terassien sekä alimman kerroksen sisäänvetojen muoto. (Open Geospatial Consortium 2014, 11)

Taulukko 4. Tarkkuustasojen mittaustarkkuusvaatimuksia CityGML 2.0 -määrittelyssä

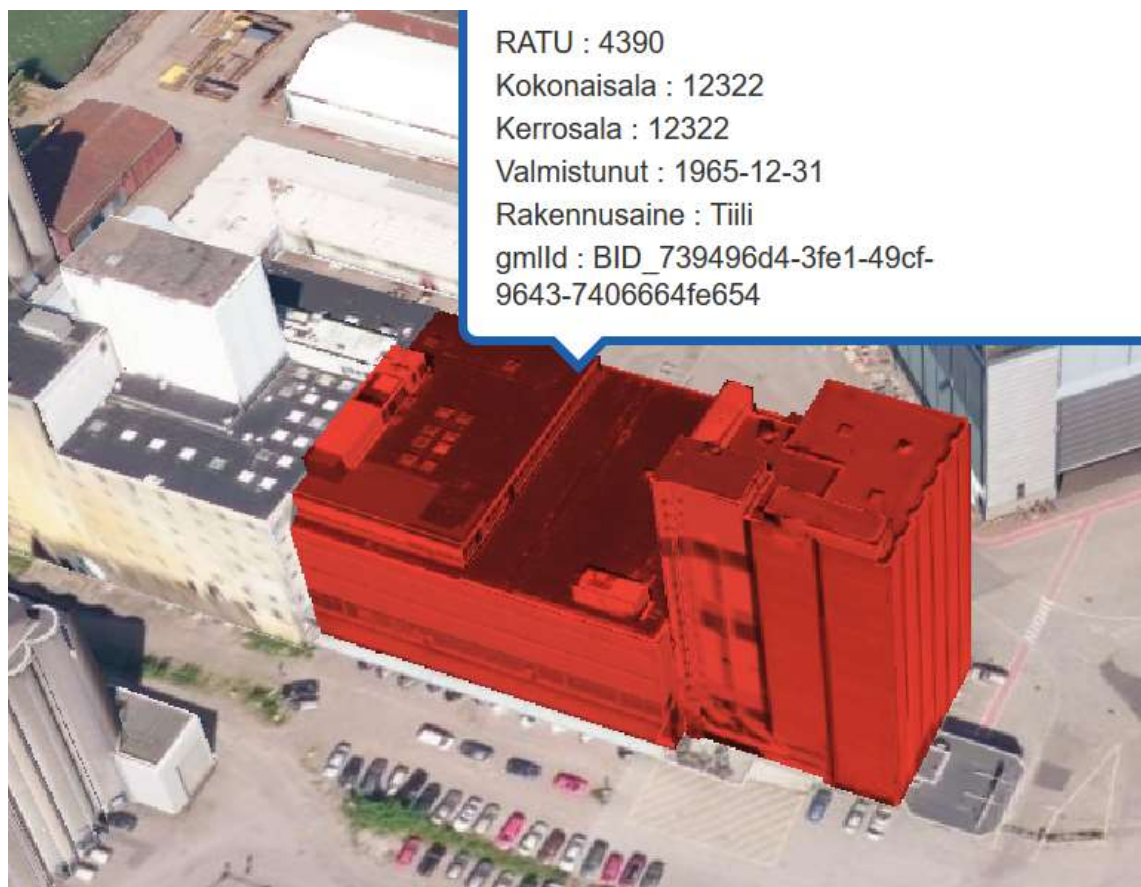
Level of Detail	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city, city districts, projects	city districts, architectural models (exterior), landmark	architectural models (interior), landmark
Class of accuracy	Lowest	Low	Middle	High	Very High
Absolute 3D point accuracy (position/height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m

4.1.7 Rakennusrekisteritiedot

Kuopion kaupungin alueellinen rakennusvalvonta ylläpitää rakennusten rekisteritietoja Facta kuntarekisterissä. Tietojärjestelmän on Kuopion kaupungille toimittanut CGI Oy. (Torvinen, J 2016, 2) Facta kuntarekisteri on samalla myös

käyttöliittymä rakennusvalvonnan henkilöstölle. Järjestelmään kirjataan muun muassa rakennuksen VTJ-PRT -tunnus, järjestelmän pysyvärakennustunnus, rakennuksen pinta-ala-, lupa-, väestö-, katselmustietoja sekä rakennuksen käyttöönottopäivämäärä. Yhteensä erilaisia rakennukseen sekä rakennuslupaan kohdistuvia rekisteritietoja on yli sata kappaletta. (CGI Oy 2015, 1–3)

Rakennusrekisterin merkitys rakennusmallintamiselle on oleellinen, sillä rakennusmallin semantiikka tulee kunnan rakennusrekisteritiedoista. Esimerkiksi Helsingin kaupunkimallin rakennuskohteet on yksilöity omiksi tunnistettaviksi kohteiksi. Yksilöivä tieto geometrian osalta on CityGML:n pakollinen yksilöivä-tunnus gmlid, rekisteritietojen osalta yksilöivä-rakennustunnus on RATU (Kuvio 11). Alla olevassa kuviossa 11 on kaksi vierekkäistä kerrostaloa, joiden seinät ovat toisissaan kiinni, mutta rakennuslupa on eri vuodelta. (Rakentaja.fi)



Kuvio 11. Helsingin 3D+ rakennustietomalli yksilöity RATU-tunnuksella

4.1.8 CityGML-tietokanta

Tällä hetkellä ainoa hyödynnettävissä oleva CityGML-tietokantapohjainen ratkaisu on Saksassa kehitetty The 3D City Database. The 3D City Database eli 3DCityDB on avoimeen lähdekoodiin perustuva tietokantapohjainen skeemarakenne CityGML-kohteiden tallentamiseen sekä ylläpitoon. 3DCityDB tukee Oracle sekä PostGIS tietokantaympäristöjä. Tietokanta tukee myös vanhempaa CityGML 1.0 -versiota. 3DCityDB-tietokantaratkaisu on kehitetty ennen kaikkea laajojen alueiden, kuten kaupunkimallien ylläpitämiseen. Tietokannan on kehittänyt saksalainen ryhmittymä the Chair of Geoinformatics, johon kuuluu yrityksiä sekä Münchenin teknillisen yliopiston tutkijoita. (Yao, Chaturvedi, Kolbe 2015, 2.)

3DCityDB ratkaisu käsittää varsinaisen tietokannan lisäksi CityGML-tiedostojen ylläpitotyökaluna käytettävän 3DCityDB Importer/Exporter työkalun, jolla esimerkiksi rakennusmalleista muodostettuja CityGML-tiedostoja voidaan ladata 3DCityDB-tietokantaan. Työkalu sisältää lataustyökalun, jolla voidaan ladata kohteita alueellisesti joko CityGML- tai KML/Collada -tiedostoiksi. (Yao, Chaturvedi, Kolbe 2015, 2–3.)

5 RAKENTAMISEN TIETOMALLINNUS

5.1 Rakentamisen tietomallinnus

Rakentamisen tietomallinnuksella tarkoitetaan rakennusluvan hakuvaiheessa tuotettavaa suunnitteluaineistoa, joka toimii lähtötietona rakentajalle, rakennuslupaviranomaiselle sekä rakennuttajalle. Rakentamisen tietomallintamisen tavoite on suunnitella laadukkaasti sekä tehokkaasti uudisrakennus- tai korjausrakennuskohde suunnitteluohjelmistolla. (Kuvio 12) Rakentamisen tietomallintaminen ei ole pelkkää rakenteiden ja kohteiden mallintamista vaan mallintamisessa on huomioitava koko rakennuksen elinkaari. Pelkkien rakenteiden mallintamisen lisäksi tietomallintamisen tavoitteena voi olla esimerkiksi havainnollistaa suunnitelmaa, tehostaa rakentamisen aikaista työprosessia tai tukea hankkeen kustannuslaskentaa. (Building Smart International Finland 2012a, 5.)



Kuvio 12. Rakennuksen IFC-tietomalli Autodesk InfraWorks 360 sovelluksessa

Rakentamisen tietomallinnusta varten on valtakunnan tasolla koottu Yleiset tietomallivaatimukset 2012 julkaisusarja. Julkaisusarja koostuu 14. osasta. Julkaisusarjan osat 1–9 on laadittu vuosina 2011–2012. Myöhemmin julkaisusarjaan on julkaistu osat 10–14, jotka tarkentavat muun muassa rakennuslupaviranomaisen roolia. Julkaisusarjaa on ollut laatimassa Suomen väestömäärältään suurimmat kunnat sekä rakennussuunnittelun toimialalla toimivat yritykset. Yleiset tietomallivaatimuksissa 2012 määritelläänkin rakennusmallintamisen vähimmäistason sekä mallinnusvaatimukset Suomessa. (Building Smart International Finland 2012b, 2.)

5.2 Rakennuksen tietomalli IFC

The industry foundation classes eli IFC on avoin kansainvälinen tiedonsiirtoformaatti, joka tarkoitettu rakennuksien sekä teollisuusrakenteiden mallintamiseen. Standardin on kehittänyt buildingSMART International yhteisö. IFC-tiedonsiirtoformaattista on julkaistu uudempi versio 4 vuonna 2013. (Building Smart International 2014.) Yleiset tietomallivaatimukset 2012 suosittelee tietomallinnuksessa käytettäväksi Suomessa aikaisempaa IFC versiota 2x3. (Building Smart International Finland 2012b, 2)

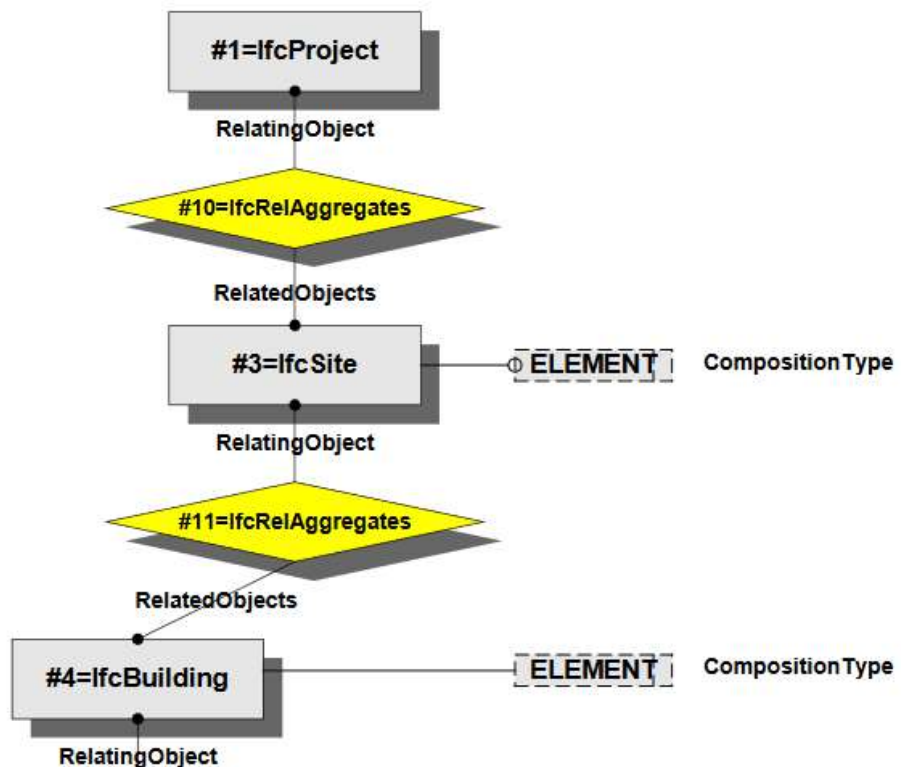
5.3 IFC-rakennustietomallista CityGML-kaupunkimalliin

Kaupunkimallinnuksen ohjekirjan laatimisen yhteydessä valmistui testihanke IFC2CityGML. Hankkeen lähtökohtana oli saada siirrettyä IFC-tietomallin tietosisältö automaattisesti CityGML 2.0 -standardin mukaiseen tiedonsiirtomuotoon. Hankkeen loppuraporttina syntyi IFC-tietomallinnusvaatimukset dokumentti, jossa kuvataan vaatimuksia IFC-tietomallin tietosisällölle. (Hietanen, Kokko 2015,1–2.)

Muuntamisen onnistumisen edellytys on, että IFC-tiedostossa olevat kohteet on mallinnettu oikeina objektityyppeinä. Esimerkiksi seinäobjektien pitää olla IfcWall- tai IfcCurtainWall -kohteita. Muuntaminen tulee suunnitella niin, ettei

alkuperäiseen tietosisältöön tarvitse tehdä laajennuksia muuntamista varten. (Hietanen, Kokko 2015, 2–3.) IFC-tietomalli suositellaan suunniteltavaksi origo-koordinaatistoon, jolloin lähtöpisteen tasokoordinaatit ovat pohjoissuunnassa nolla ja itäsuuntana nolla. Korkeuskoordinaatistona käytetään todellista korkeusasemaa millimetreinä. (Building Smart International Finland 2012a, 2.)

IFC-skeemassa maantieteellisen sijainnin määrittäminen asetetaan IfcSite kohteelle, joka useimmiten on rakennetun kohteen ympärillä oleva kiinteistö. Koordinaatisto esitetään asemakoordinaatteina olevina tunnettuina vastinpisteinä RefLatitude, RefLongitude ja RefElevation. (Liebich 2009, 34.) Rakennuskohde IfcBuilding voidaan esittää IFC-tietomallissa myös ilman IfcSite kohdetta, mutta silloin koordinaatiston määrittäminen ei ole mahdollista. (Kuvio 13) Näissä tapauksissa käyttäjän on asemoitava käsin omassa sovelluksessaan (Liebich 2009, 3).



Kuvio 13. IFC2x3-tietomallin rakennekuvaus

Vastaavasti CityGML 2.0 -skeemarakenne suosittelee koordinaatiston määrittelyä automaattisesti, jokaisessa GML-tiedostossa on käytössä oleva koordinaa-

tisto määritelty tiedoston alkuun elementillä gml:Envelope. (Open Geospatial Consortium 2014,6) IFC- sekä CityGML-tietomallin väliseen muuntamiseen löytyy muutamia sovelluksia. Safe Software on kehittänyt tiedonsiirtämiseen tarkoitettua ohjelmiston FME. FME hallitsee IFC- sekä CityGML-tietomallien välisen muunnoksen. (Safe Software 2015) Tamperelainen yritys Datacubist Oy on erikoistunut IFC-mallien analysointiin sekä tiedonsiirtoihin. Yrityksen SimpleBim ohjelmistonsa on kehitetty rakennusmallien siirtoa varten CityGML-kirjoitusmahdollisuus. Ohjelmiston CityGML-kirjoitus on testausvaiheessa. (Datacubist 2017.)

5.4 Tietomallinnus tulevaisuudessa osana rakennuslupaprosessia

Rakennuslupahakemukseen on voimassa olevan maankäyttö- ja rakennuslain 5.2.1999/132 mukaan liitettävä rakennussuunnitelman pääpiirustukset. Pääpiirroksia ovat muun muassa rakennuksen asema- sekä pohjapiirros (Kuopion kaupunki 2016b, 16). Vastaavat rakennuslupapiirrokset pystytään tulostamaan rakennuslupaviranomaisen vaatimuksien mukaisesti paperille rakennuksen IFC-tietomallista. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 14. Tietomallien hyödyntäminen rakennusvalvonnassa ohjeistaa tietomallin laajempaa hyödyntämistä rakennuslupahakuprosessissa. Ohjeistuksessa on kuvattu rakennuslupaviranomaisen näkökulmasta, kuinka tietomallia voidaan tulkita rakennuslupadokumentiksi. (Building Smart International Finland 2014, 6–7.) Lisäksi ohjeistus tarkastelee rakennustietomallin käyttöä eri lupavaiheissa.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 Osa 14 määrittelee IFC-tietomallille alla olevan listauksen mukaiset vaatimukset. Tietomallinnuksen vaatimuksissa on huomioitu rakennusvalvonnan tarpeet. (Building Smart International Finland 2014)

Tietomallinnuksen vaatimuksia:

- Vaatimusluokat
 - Normaalitasoiset vaatimukset, joita voidaan tietoteknisin keinoin tarkastaa esimerkiksi metatietojen oikeellisuus
 - Erityistasoiset vaatimukset, joissa rakennuslupaviranomaisen pitää visuaalisesti tarkastaa tietomallin rakennetta
- Tiedonsiirtoformaatti
- Tietomallitiedoston nimeäminen
- Metatiedot
 - Rakennuskohteet metatiedot käsittävät muun muassa sijaintitiedon,
 - Osoitetiedot sekä kiinteistötiedot
 - Rakennukset tieto esimerkiksi pinta-ala, kerrosala, pääkäyttötarkoitus
 - Arkistoinnin metatiedot
- Malliin koottavat lähtötiedot
 - Kiinteistön rekisteritiedot sekä geometriatiedot
 - Voimassa oleva asemakaava
 - Maaperätiedot
 - Ympäristön sekä verkostotiedot
 - Muut rakennukset suunnitellun rakennuksen ympäristössä

(Building Smart International Finland 2014, 8–16)

5.5 Rakennusvalvonnan lupien sähköistyminen Kuopiossa

Vuonna 2013 julkaistiin rakennetun ympäristön lupienhaun sähköinen asiakaspalvelu. Sovellus on kehitetty Valtionvarainministeriön rahoittaman SADe-ohjelman yhtenä kehityshankkeena vuosien 2009–2015 välisenä aikana. Ohjelman teknisestä toteutuksesta vastaa Solita Oy. Lupapiste.fi ohjelmisto on tarkoitettu Suomen kaikkien rakennuslupaviranomaisten käyttöön. (Valtionvarainministeriö 2015.)

Kuopion kaupungin alueellinen rakennusvalvonta on siirtynyt jo osittain paperisesta lupahausta sähköiseen lupaprosessiin. Lupapiste.fi palvelussa voidaan hakea rakentamisen lupia sekä keskustalla hankkeen etenemisestä rakennus-

lupaviranomaisen kanssa. (Kuopion kaupunki 2017g.) Kuopion kaupungin alueelliselta rakennusvalvonnalta saatujen tietojen perusteella vuoden 2016 rakennusluvista sähköisesti lupapisteiden kautta haettiin seitsemän prosenttia. Alkuvuoden 2017 perusteella lupapisteiden käyttö on lisääntynyt. Tarkastusinsinööri Henri Humalan tietojen mukaan alkuvuonna 2017 on haettu noin 25 prosenttia rakennusluvista Lupapiste.fi:n kautta. (Humala 2017)

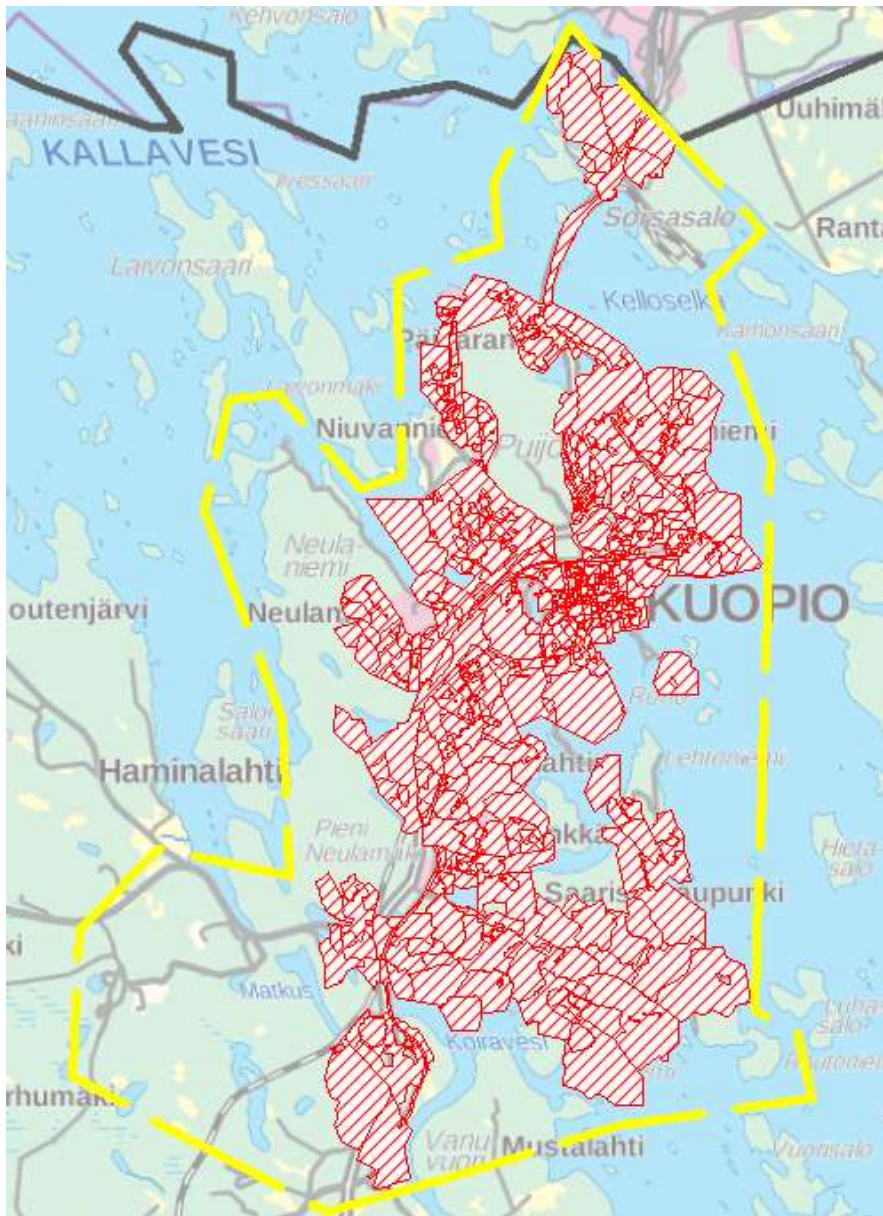
Lupapiste.fi palveluun on mahdollista liittää rakennuksen suunnittelutietomalli, yhdeksi rakennuslupaan liittyväksi dokumentiksi. (Lupapiste.fi 2017) Esimerkiksi Tampereen kaupunki pyytää Lupapisteiden kautta haettavan rakennusluvan mukana asemapiirroskuvan DWG-tiedonsiirtoformaattissa käyttämässään ETRS-GK24 koordinaatistossa sekä N2000 korkeusjärjestelmässä. Lisäksi lupahakemuksen liitteeksi voi liittää IFC-tietomallin rakennusluvan kohteesta. Sähköinen asemapiirroksen liittäminen ei ole luvanhakijalle pakollista vaan vapaaehtoista, sillä maankäyttö- ja rakennuslaissa ei ole kohtaa, joka vaatisi rakennusluvan hakijaa toimittamaan rakennuslupadokumentin tietomallina. Tampereen kaupunki käyttää seuraavaa virkettä kuvatakseen vapaaehtoisuutta: ”Pääpiirustusten lisäksi toivotaan että Lupapiste.fi:n kautta jätetyssä hakemuksessa olisi liitteinä myös DWG-kuva asemapiirroksesta ja mahdollinen rakennuksen IFC-malli.”. (Tampereen kaupunki 2017b.)

IFC-tietomallien muuntaminen CityGML-tiedonsiirtoformaattiin on mahdollista luvussa 5.3 mainituilla FME sekä SimpleBIM ohjelmistoilla. Suomessa on kehitteillä Lupapiste.fi sovelluksen yhteyteen integroitava Virva3D sovellus, joka muuntaa IFC-tietomallin CityGML-tietomalliksi. Tällöin rakennusluvan pääpiirrostensa suunnittelijalle jää tehtäväksi ladata yleisten tietomallivaatimusten 2012 mukaisesti laadittu IFC-tiedosto sähköisen luvanhaun yhteydessä kunnan Lupapiste.fi ympäristöön. (Sova3D 2017.)

6 LÄHTÖTILANTEEN TIETOMALLINNUS KUOPIOSSA

6.1 Yleistä

Kuopion kaupungin rakennustietomallinnusprosessi on nähtävissä kaksi selkeää tehtävä kokonaisuutta. Ensimmäisessä vaiheessa on luotava lähtötilanne malli olemassa olevasta rakennetusta ympäristöstä. Lähtötilannemallin laadinnan jälkeen voidaan aloittaa varsinainen ylläpitovaihe, jossa rakennusmallinnus tapahtuu rakennusluvan yhteydessä. Tässä luvussa kuvataan lähtötilannemallinnuksen vaiheita.



Kuvio 14. Mallinnettava alue sekä asemakaava-alueet

Kuopion keskustan kaava-alueet käsittävät noin 15 900 rakennusta. Tämä joukko on saatu poimimalla Facta rakennusluparekisterin valmiiden rakennusten tunnuspiisteet asemakaava-alueilta. Todellisuudessa mallinnettava alue tulee olemaan hieman laajempi, sillä asemakaava-alue ei ole täysin yhtenäinen. Mallinnettavaan alueeseen on varattava myös tulevien vuosien kaava-alueiden laajentuminen. (Kuvio 14) Kokonaisuudessaan mallinnusalueella on 17 636 kappaletta Factan rakennustunnuspiisteitä. Lisäksi mallinnusalueella on Facta kuntarekisterin rakennuslupia hankevaiheessa 1524 kappaletta.

Kuopion kaupungin kantakartan seinälinjatietojen perusteella kaava-alueelta löytyy 19 355 rakennusalueita, jotka voidaan yhdistää Facta kuntarekisterin pysyvään rakennustunnukseen. Trimble Locus maastotietokannassa on rakennusalueita enemmän kuin varsinaisia rakennuslupia, sillä yhteen rakennuslupaa saattaa kuulua useita rakennusalueita ja -kohteita. Yhden rakennusluvan rakennus on sijaintikatselmuksen yhteydessä kartoitettu rakenteenmukaisiin kohteisiin. Erilaisia rakenteita on rakennus, joka kuvaa rakennuksen seinälinjaa. Rakennus voi sisältää myös katoksen, sisäänvedon, parvekkeen tai terassin. (Taulukko 5) Lisäksi tietokannassa on yli 18 000 rakennusta, joille ei voida yhdistää Facta kuntarekisterin rakennusrekisteritietoa. Tähän joukkoon kuuluu pieniä ilmoitusluvalla rakennettuja rakennelmia, joille pysyvää rakennustunnusta ei ole saatavissa. Kohdistumattomilla rakennusalueilla on yksittäisiä rakennuksia, joille on olemassa Factan pysyvä rakennustunnus, mutta rakennustunnuksen sijaintia ei voi kohdistaa yksilöivästi oikeaan alueeseen. Näiden kohteiden sijainti tulee korjata Facta kuntarekisteriin sekä Trimble Locus maastotietokantaan.

Taulukko 5. Trimble Locus maastotietokannan rakennuskohteet

Kuopion kaupungin rakennuskohteet mallinnusalueella (kappaletta)	
katoksen tunnusnumero	12085
sisäänvedon tunnusnumero	453
rakennuksen tunnusnumero	21685
parvekkeen tunnusnumero	2710
terassin tunnusnumero	740

Tietomallinnusprosessi on tarkoitus luoda Kuopion kaupungin olemassa olevien ohjelmiston ympärille. (Taulukko 6) Kuopion kaupungilla on käytössään rakennuksen mallinnukseen soveltuvia ohjelmistoja Bentley Systemsin Microstation sovellusympäristössä sekä kaupunkimallin visualisointiin soveltuvia Autodesk:n ohjelmistoja. Tietomallinnusprosessin kehittämisessä ei ole tarkoitus tehdä suuria ohjelmistohankintoja vaan tehostaa ja laajentaa olemassa olevien ohjelmistojen käyttöä. Kuopion kaupunki on rakennusmallinnusta varten hankkinut Terra Solid Oy:n TerraCity-ohjelmiston, jolla voidaan ylläpitää ilmalaserkeilauksesta mallinnettuja CityGML-rakennuskohteita.

3DCityDB-tietokanta tukee Oracle- ja PostgreSQL-tietokantojen spatial laajennoksia. Kuopion kaupungin ylläpitotietokannaksi valittiin PostgreSQL-tietokannan spatial laajennos PostGIS, koska Terra Solid Oy ohjelmisto TerraCity tukee PostGIS versiota 9.2 (Haapa-aho, E 2016).

Taulukko 6. Kuopion kaupungin paikkatieto-ohjelmistot rakennusmallinnuksen ylläpidossa

Ohjelmisto	Ohjelmiston kehittäjä	Ohjelmiston tarkoitus
Microstation v8i S4	Bentley Systems	Mallintamisen sovellusalusta
TerraScan 17	Terra Solid Oy	Rakennusten mallinnusohjelmisto
TerraPhoto 17	Terra Solid Oy	Rakennusten visualisointiohjelmisto
TerraCity 17	Terra Solid Oy	CityGML-tiedonsiirto-ohjelma
Trimble Locus 14.2	Trimble Solution Oy	Kantakartan ylläpitojärjestelmä
3DCityDB v3.3	Chair of Geoinformatics	CityGML-tietokanta
CityDoctor		CityGML-aineiston validointi työkalu
Autodesk Infra-works 2017	Autodesk	Suunnitteluhankkeiden visualisointi ohjelmisto
Facta kuntarekisteri	CGI Finland Oy	Rakennusrekisterin ylläpitojärjestelmä

6.2 Lähtötilannemallinnuksen prosessikuvaus

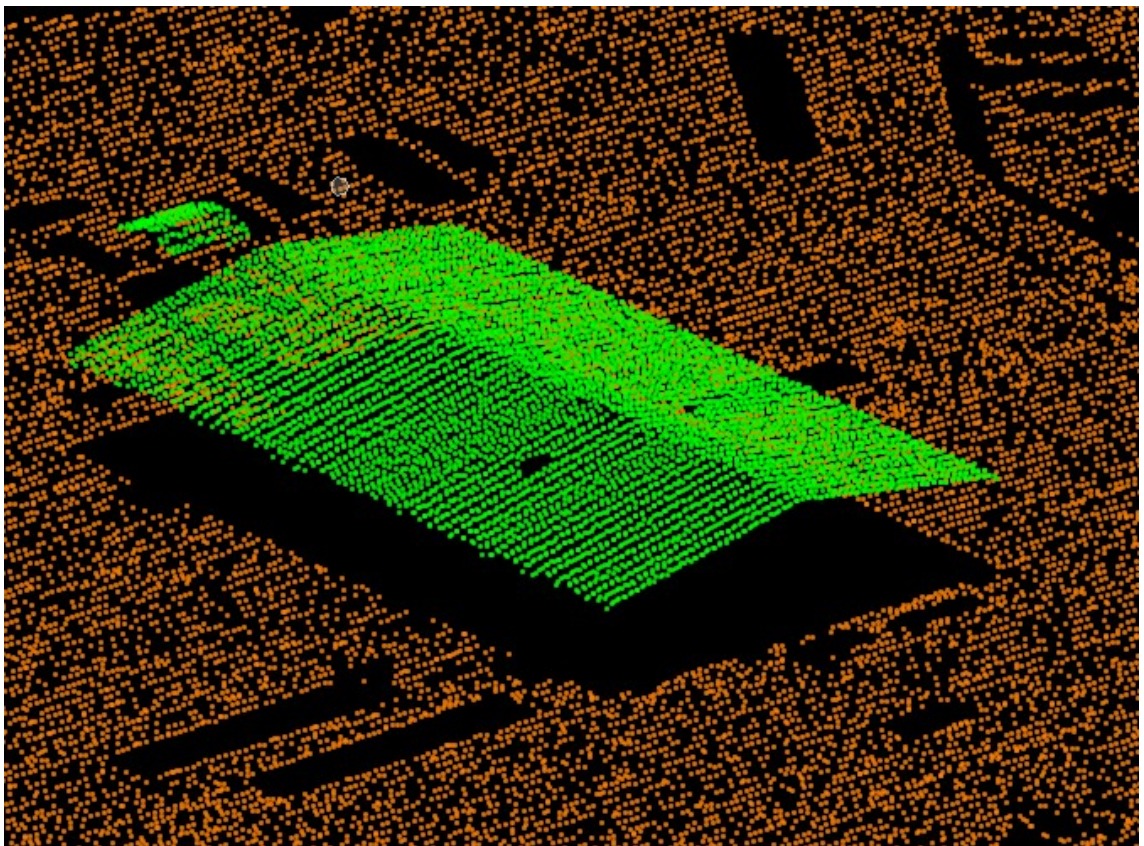
Lähtötilannemallinnuksella tarkoitetaan nykyisten rakennuksien mallintamista. Varsinainen ylläpitoprosessi alkaa lähtötilannemallinnuksen jälkeisestä hetkestä. Ennen mallinnuksen aloittamista on huomioitava ilmalaserkeilausaineiston, kantakartan seinälinjatiedon sekä rakennusrekisterin ajantasaisuus. Lähtötilannemallinnus voidaan kuvata alla olevan kuvion 15 mukaisesti. (Kuvio 15)



Kuvio 15. Lähtötilannemallinnuksen prosessikuvaus

6.2.1 Rakennusmallinnus

Rakennuksen geometria laskenta sekä visualisointi suoritetaan TerraSolid Oy:n ohjelmistoilla TerraScan sekä TerraPhoto. Ohjelmistot käyttävät alustaratkaisunaan Bentley Systemsin Microstation V8i-ohjelmistoa. TerraScan-ohjelmalla voidaan vektoroida kolmiulotteisen rakennuksen geometria ilmalaserkeilausaineiston perusteella. Vaatimuksena on, että laserpistepilviaineisto on luokiteltua, jolloin ohjelmisto tunnistaa aineistosta rakennuksen kattopinnan sekä maanpinnan laserpisteet. (Soininen 2017b.)



Kuvio 16. Luokiteltu Ilmalaserkeilausaineisto

Pelkällä laserpistetiedon avulla TerraScan-ohjelmisto vektoroi rakennuksen seinäpinnat räystäään uloimmasta kohdasta alaspäin. Tämä aiheuttaa sen, että rakennusten tilavuus on todellisuutta suurempi eikä rakennuksen seinämuoto välttämättä vastaa todellisuutta. (Kuvio 16) Ohjelmistossa voidaan hyödyntää myös olemassa olevia rakennuksen kivijalkavektoreita. (Soininen 2017b) Kuopion kantakartan rakennuksen seinälinjatiedon avulla voidaan rakennusmalleja rajoittaa rakennuksen kivijalkaan. Tällöin rakennusmalli täyttää paremmin CityGML-

rakennuskohteen vaatimukset rakennuksen muodon sekä tilavuuden osalta. (Special Interested Group 3D 2014, 10)

Kuopion keskustan alueella kerrostalokortteleissa rakennukset on rakennettu usein kiinni toisiinsa. (Kuvio 17) Rakenteellisesti kiinni olevat eri kerrostalot voidaan erottaa omiksi kohteita kantakartan seinälinjatiedolla. Special Interested Group 3D työryhmän kirjoittamassa rakennusten mallinnusohjeessa suositellaankin, että toisissaan kiinni olevat rakennukset mallinnettaisiin omiksi kohteiksi yksilöinnin helpottamiseksi. (Special Interested Group 3D 2014, 11)

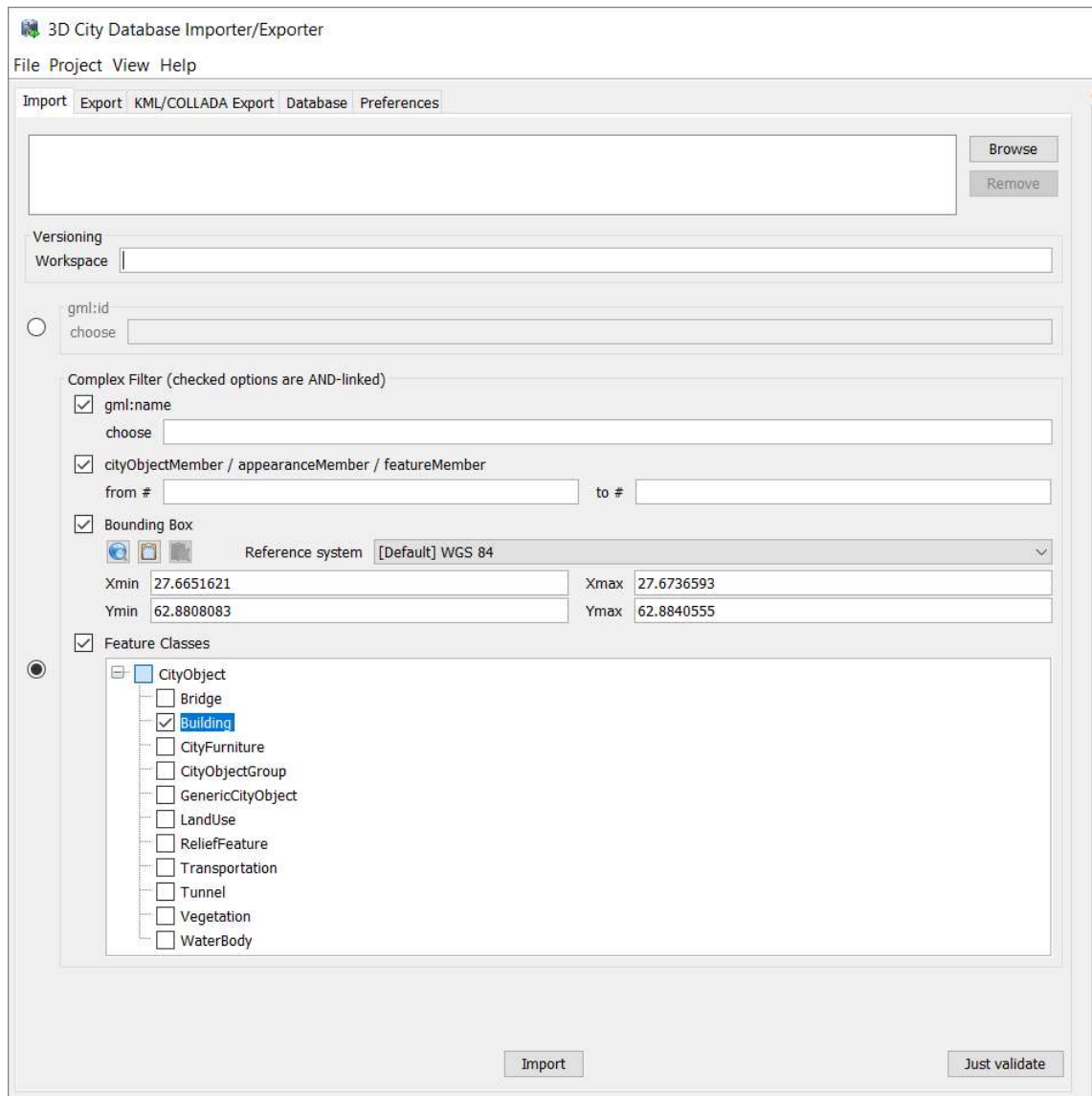


Kuvio 17. Toisissaan kiinni olevat rakennukset kantakartalla

6.2.2 Rakennusmallin tallentaminen tietokantaan

TerraScanilla mallinnettu rakennus tai rakennusjoukko voidaan kirjoittaa TerraPhoto-ohjelmalla CityGML 2.0 -tiedostoksi, jossa mukana on rakennuksen visuaalinen ilme rasteritiedostona. Terraphoto-ohjelmiston asetuksissa voidaan määritellä, että kirjoitetaanko olemassa olevat seinän- sekä rakennuksen rasteritiedot mukaan vai ei. (Soininen 2017a) CityGML-tiedosto voidaan lukea 3D

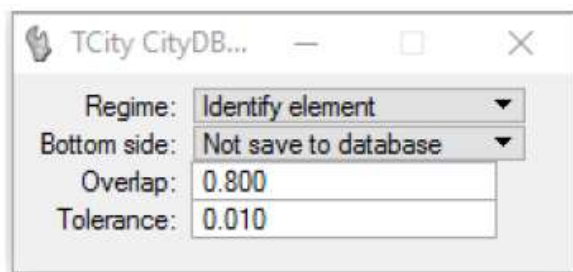
City Database Importer/Exporter-ohjelmalla sellaisenaan tietokantaan. (Kuvio 18)



Kuvio 18. Näkymä 3D City Database Importer/Exporter-ohjelmasta

3D City Database Importer/Exporter työkalun puute on, ettei työkalua ole suunniteltu rakennusten jatkuvaan ylläpitämiseen. Työkalulla voidaan kirjoittaa uusia rakennuksia tietokantaan alueellisesti. Toisaalta työkalulla on mahdollista kirjoittaa tietokannan kohteita takaisin CityGML-tiedostoksi. (Herreruela 2013, 68–69) Olemassa olevia 3DCityDb tietokannan kohteita ei voida kuitenkaan muokata tai poistaa. Jos 3DCityDb tietokannan rakennuskohteita pitää poistaa, on poistaminen tehtävä PostGIS-tietokannassa SQL-funktiokyselyllä. (Herreruela 2013)

Rakennustietomallien ylläpitoon on TerraSolid Oy kehittänyt TerraCity-ohjelmiston, joka mahdollistaa yksittäisen tai usean rakennuksen ylläpitämisen 3DCityDb-tietokannassa. Ohjelmistolla voi ylläpitää rakennuskohteita sekä maanpinnankorkeusmallia ODBC-tietokantayhteyden avulla. TerraCity-ohjelmisto osaa ladata 3DCityDb-tietokannasta käyttäjän aluerajauksella rakennuskohteita Microstation DGN-tiedostoon. Rakennuskohteita voidaan poistaa tai muokata. Tehtyjen muutosten jälkeen ladatun alueen rakennusmallit voidaan tallentaa takaisin 3DCityDb-tiekantaan. (Kuvio 19) Tunnistaminen perustuu geometrisiin toleranssimuutoksiin rakennuskohteissa. (Jerlei 2016, 4)



Kuvio 19. Rakennusten toleranssiasetukset

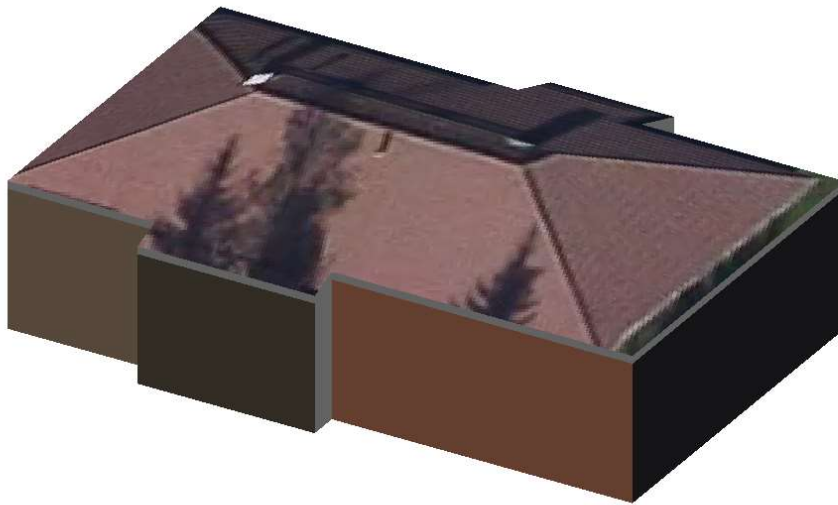
TerraCity on tarkoitettu vain TerraScan-ohjelmalla tehtyjen rakennusmallien ja 3DCityDB-tietokannan väliseksi tiedonsiirto- ja ylläpito-ohjelmistoksi. Muiden ohjelmistojen tuottamia rakennustietomalleja TerraCity ei tunnista rakennuskohteeksi.

6.2.3 Rakennuksen visualisointi

CityGML 2.0 -skeema tukee rakennusten pintaelementeille lisättävää rasteria, joko JPG-, PNG-, tai TIFF-muodossa. Periaate on vastaava kuin Collada-tiedostoformaattissa, jossa GML-tiedostoon on määriteltä rasterin asemointitieto sekä hakemistopolku. CityGML 2.0 tukee myös web service lukua, jolloin pintarasteritiedosto on mahdollista lukea URL-osoitteesta (Open Geospatial Consortium 2014, 38, 237.)

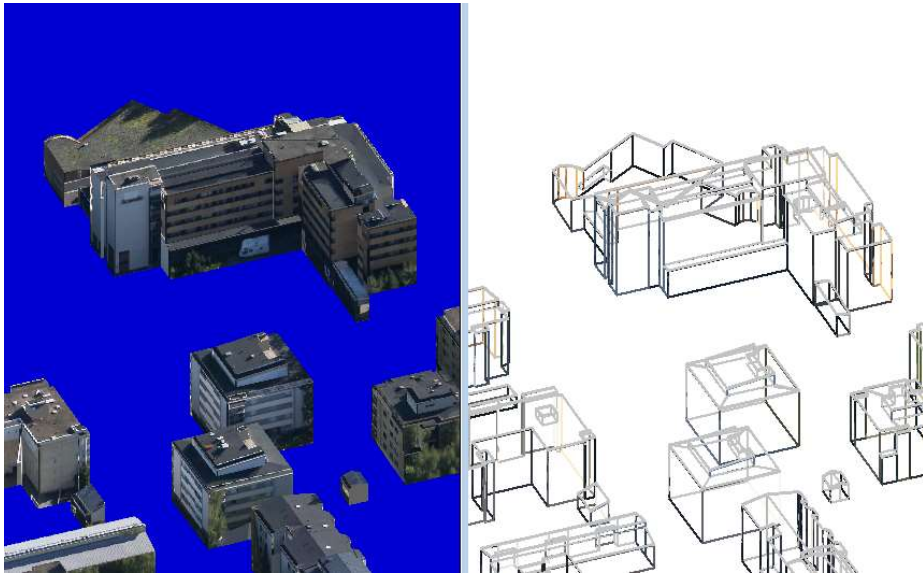
TerraCity-ohjelman tämän hetkinen versio ei kuitenkaan tue katto- ja seinätekstuurien tallentamista tietokantaan rasteritiedostoina. Rakennusmallien tekstu-

rinti voidaan suorittaa TerraPhoto-ohjelmistolla ja kirjoittaa erilliseksi CityGML-tiedostoksi. Aineisto on hyödynnettävissä CityGML-tiedostona esimerkiksi Autodesk InfraWork 360 visualisointiohjelmistossa tekstuureineen. Rakennusten teksturointi voidaan tuottaa olemassa olevasta ortokuvasta pelkälle kattopinnalle. (Kuvio 20) Fotorealismiin lisäämiseksi myös rakennuksen seinäpinnoille voidaan tuottaa pintatekstuuri viistokuvauksesta. (Soininen 2012)



Kuvio 20. Rakennuksen rasteroitu kattopinta

Pelkän kattopinnan teksturointi on varsin nopea toimenpide, koska tuottamisessa voidaan hyödyntää olemassa olevaa ortokuva-aineistoa. (Kuvio 21) Seinäpintojen teksturointia varten on viistokuva-aineistoon tehtävä pistetihennys. Kuopion kaupungista kävi marraskuussa 2012 henkilökuntaa TerraPhoto koulutuksessa, jossa käytiin läpi rakennuksen teksturoinnin vaiheita. Koulutuksen perusteella haasteellisimmat vaiheet olivat kameravakioiden määrittäminen, sidospisteiden tekeminen kuvajoukon sisäistä orientointia varten. (Soininen 2012.)



Kuvio 21. Teksturoitu rakennus sekä rakennuksen geometriamalli

Ilmakuva-aineiston hyödyntämisen suuri haaste tekstuurien laatu. Varsinkin matalissa rakennuksissa kasvillisuus saattaa peittää kokonaisuudessaan seinäpinnan todellisen värin. (Kuvio 22) TerraPhotossa on tätä ongelmaa varten työkalu Change texture image, jolla voidaan seinäpinnan tekstuuria vaihtaa. Oletuksena TerraPhoto valitsee seinäpinnan tekstuuriksi parhaiten kuvausjonossa soveltuvan viistokuvan. Visuaalisesti sopivimman kuvan etsiminen on manuaalisesti tehtävää työtä.



Kuvio 22. Kasvillisuuden peittämät seinäpinnot

6.2.4 Rakennuksen rekisteritiedon yhdistäminen malliin

Rakennuksen rakennuslupatietojen yhdistäminen rakennustietomalliin onnistuu CityGML:n geneeristen attribuuttien avulla. (Special Interested Group 3D 2014, 14) Kuopion kaupungin tietohallinnon ATK-pääsuunnittelija Marko Tarvaisen mukaan rakennuslupatiedon yhdistäminen on tehtävä 3DCityDB-tietokannassa ajettavalla SQL-funktio kyselyllä. (Ahola & Tarvainen, 5) SQL-funktiokyselyn perusajatuksena on verrata sijainnillisesti Trimble Locus maastotietokannassa olevaa kaksiulotteista kantakartan rakennusaluetta 3DCityDB-tietokannassa olevaan kolmiulotteisen rakennusmalliin. Jos kolmiulotteinen rakennusmalli on kaksiulotteisen kantakartan rakennusalueen sisällä x- ja y-tasossa, voidaan rakennus kantakartan rakennusalueen avulla tunnistaa ja siirtää Facta kuntarekisterin tietoa 3DCityDB:n rakennuskohteelle geneeriseksi attribuuttikentäksi.

SQL-funktiokysely voidaan ajaa automaattisesti PostGIS-tietokannassa trigger kyselynä, silloin kun uusi rakennuskohde ilmestyy 3DCityDb-tietokantaan. Uusille rakennuskohteille kirjoitetaan tietoa insert-komennolla tai päivittää olemassa olevien rakennuskohteiden tietoa update-komennolla. (The PostgreSQL Global Development Group 2017.) Mallintamisvaiheessa ei mallintajan tarvitse huomioida rakennuksen geneerisiä attribuuttitietoja. Rakennusrekisteritietojen siirtyminen on automaattinen toimenpide.

Trimble locus maastotietokannassa on tutkimusalueella noin 18 000 rakennus- aluetta, joille ei ole rakennustunnusta. Näille kohteille ei ole saatavissa rakennusrekisteritietoa. Kohteet ovat pääosin rakennelmia, jotka eivät ole vaatineet rakennuslupaa. Rakennustunnuksettomien kohteiden purkamispäivämääräksi voidaan osoittaa päivämäärä, jolloin Trimble Locus kannasta poistetaan rakennuksen seinälinjatieto.

7 YLLÄPITOMALLIN KEHITTÄMINEN

7.1 Kaupunkimallinnuksen ylläpidosta

Kaupunkimallinnuksen ohjekirjassa ei kuvata kaupunkimallin ylläpitoa ollenkaan (Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland, 14). Maailmalta kaupunkimallin ylläpitoon liittyvää laadukasta tutkimustietoa ei löydy. Kaupunkimallin ylläpito terminä tunnistetaan enemmänkin niin, että aineisto on tallennettavissa tietokantaan. Esimerkiksi Berliinin, Helsingin sekä New Yorkin kaupunkimallit ovat ilmalaserkeilaushetken tietomalleja, joiden rakennuskanta ei päivity rakentamisen tahtiin. Rakennustiemallien ylläpitoa täytyy lähestyä Kuopion kaupungin kaupunkiympäristön palvelualueen prosessien kautta. Eri prosesseissa syntyvä tieto halutaan mahdollisimman helposti siirtää rakennuksen tietomallin lähtöaineistoksi. Huomioitavaa on myös, ettei osaa alla kuvatuista prosesseista ole tutkittu tarpeeksi tai käyttöön otettu.

Ylläpitoprosessin kuvauksessa on muutamia ohjelmistoteknisiä puutteita esimerkiksi IFC-tietomallien muuntamisessa ja LOD2-tason kohteiden visualisoinnissa. Ohjelmiston toimittajien on tehtävä yhdessä Kuopion kaupungin kanssa ohjelmiston kehitystyötä näiden ongelmien korjaamiseksi.

7.2 Uuden rakennustiedon kerääminen

Uuden rakennustiedon kerääminen on hyvä kuvata rakennusmallinnuksen tarkkuustasojen eli LOD-tasojen avulla. Tarkin lopputulos luonnollisesti saavutetaan tarkkuustasoilla LOD3 tai LOD4. Maankäyttö- ja rakennuslain lähtökohdat huomioiden uskon, ettei lähivuosina tähän tasoon päästä läheskään kaikkien uusien rakennuslupien osalta. Uuden rakennustiedon keräämisestä tarvitaan lähitulevaisuudessa tarkkuustasoja LOD1–LOD4.

7.2.1 LOD3- tai LOD4-tarkkuustaso IFC-tietomallista

Luvussa 5.5 kuvatut Maankäyttö- ja rakennuslaissa olevat rajoitteet huomioiden ei Kuopion kaupungin alueellinen rakennusvalvonta voi vaatia rakennusluvan

yhteydessä rakennustietomallia IFC2x3-tiedonsiirtoformaattissa. Kunta voi kuitenkin laskea rakennusluvan tai rakennuksen sijaintikatselmuksen hintaa, mikäli rakennusluvan rakennuspiirrosten suunnittelija toimittaa olemassa olevan lähtötietomallin IFC-tiedonsiirtoformaattissa. Toisaalta kunta voi pyytää rakennussuunnittelijaa sekä rakennuttajaa toimittamaan vapaaehtoisesti IFC-tietomallin rakennuskohteesta. IFC-tiedostosta saatava rakennustietomalli on tarkkuustasoltaan LOD3 tai LOD4. IFC-tietomallit ovat eroteltavissa 3DCityDB-tietokannassa epätarkemmista kohteista LOD-tasonsa avulla. LOD3- ja LOD4-tarkkuustason kohteita ei visualisoida tekstuureilla, koska pintakohteet tunnistavat oletusvärinsä. Rakennussuunnittelijaa sekä rakennusluvan hakijaa on hyvä informoida IFC-tietomallin luovutuksessa rakennusluvan haun yhteydessä sekä Kuopin kaupungin internetsivuilla.

7.2.2 LOD2-tarkkuustaso UAV-ilmakuvauksesta tai ilmalaserkeilauksesta

UAV-ilmakuvauksesta saatava rakennustieto on tarkkuudeltaan verrattavissa ilmalaserkeilauksen tarkkuuteen. Aineistosta tehtävä pistepistepilvi onkin käsiteltävissä vastaavalla prosessilla kuin aikaisemmin luvussa 4.1.1 kuvattu ilmalaserkeilausaineisto. Rakennusmallin tarkkuusvaatimuksena voidaan pitää LOD2-tasoa.

UAV-lennokin käyttö rakennusmallinnusaineiston keräämisessä on suositeltavaa, sillä samalla lennolla saadaan kuvattua myös asuinalueen ympäristöä varsin laajalti. Esimerkiksi VideoDrone Finland Oy:n toimittamalla GeoDrone X4L-multikopterilla voidaan yhdellä lennolla kuvata 50 hehtaarin suuruinen alue (Nieminen 2017). Aineistoa voidaan käyttää tarkkuutensa osalta myös maasto-kohteiden kartoittamiseen rakennuksen ympäristössä. Kuopion kaupungilla ei ole tällä hetkellä UAV-lennokkia käytössään, mutta Suomessa on useita UAV-kuvauksia suorittavia yrityksiä.

Ilmalaserkeilauksia on tehty Kuopion kaupungin toimesta muutaman vuoden välein (Kuopion kaupunki 2017c). Uusin ilmalaserkeilausaineisto on tulossa vuodelle 2017. Uudella aineistolla voidaan päivittää LOD1-tarkkuustason ra-

kennusaineistoa sekä rakennusten mallintaa LOD2-tason rakennusmalleihin tulleita laajennusosia. (Kuopion kaupunki 2017h)

LOD2-tason rakennuskohteet voidaan teksturoida TerraPhoto ohjelmistolla jälkikäteen uudelleen. Teksturointi kannattaa toteuttaa koko mallinnusalueelle myös aikaisemmin teksturoiduille kohteille, jos uutta viistokuva-aineistoa on saatavissa. Toimenpiteellä saadaan yhtäläinen teksturointi kaikille tietokannassa oleville rakennuksille. 3DCityDB tietokannassa olevat vanhat tekstuurit on syytä poistaa ennen uusien tekstuurien luontia.

7.2.3 LOD1-tarkkuustaso sijaintikatselmuksesta sekä rakennusluvan tiedoista

Epätarkin rakennusmallinnustarkkuustaso LOD1 luodaan rakennuksista, joista ei saada IFC2x3-tietomallia eikä UAV-ilmakuvausta ei suoriteta sijaintikatselmuksen yhteydessä. Rakennusmalli muodostetaan kantakartan rakennuksen seinälinjatiedosta sekä rakennusluvan kerroslukumäärä tiedosta. Rakennuksen kattopinnalle määritetään yksi korkeusasema, jossa ei huomioida rakennuksen erikohteiden eri korkeusasemia. Korkeusaseman määrittäminen on laskettavissa kaavalla: Sijaintikatselmuksen yhteydessä tarkistettu sokkelin korkeustieto + (kerroslukumäärä x 4 metriä).

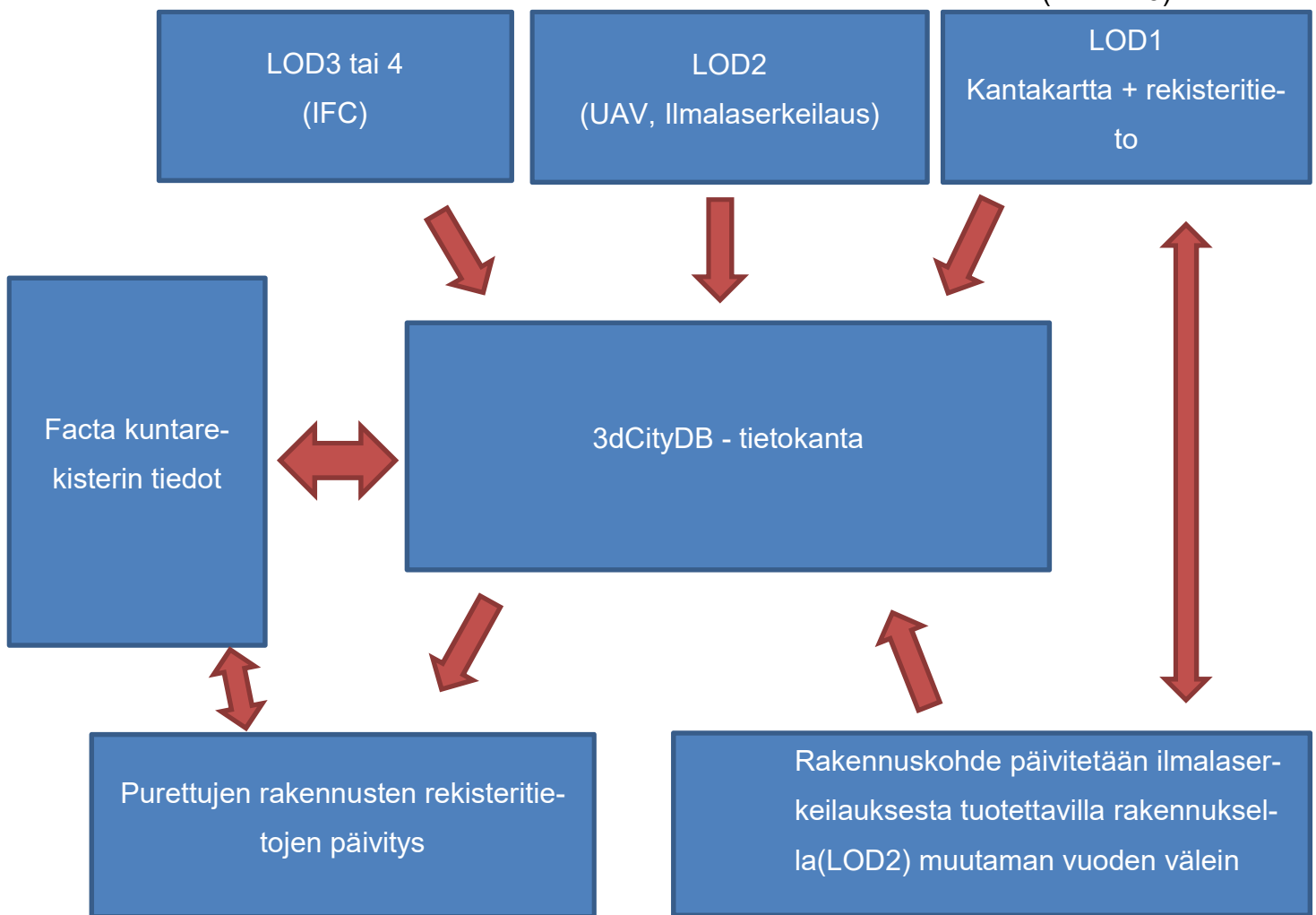
LOD1-tarkkuustason rakennusmalli vektoroidaan TerraScanin työkaluilla. TerraScan sisältää työkalun Create Buildings from Polygons, jolla kattokorkeudessa olevalle polygonialueesta voidaan muodostaa rakennusmalli (Soininen 2017b). Muodostettu rakennusmalli voidaan siirtää 3DCityDB-tietokantaan TerraCity ohjelmalla. LOD1-tarkkuustason rakennusmalleja ei visualisoida tekstuurilla, koska kohteet päivitetään myöhemmin LOD2-tarkkuustasoisiksi kohteiksi. (Kuvio 23)

7.2.4 Puretut rakennukset

Rakennuksen geometria tietoa ei poisteta 3DCityDB-tietokannasta vaan rakennusluvan rekisteritietojen perusteella rakennukselle lisätään purkamispäivämää-

rätieto CityGML 2.0 -skeeman kenttään yearOfDemolition. Purkamispäivämäärän asettaminen tehdään PostGIS-tietokannassa ajastetulla sql-funktio kyselynä.

Mallinnetun tiedon kulku voidaan kuvata seuraavana nuolikuviona (Kuvio 23):



Kuvio 23. Ylläpitoprosessin kuvaus

7.3 Uuden rakennustiedon tuottajien roolit

Rakennustiedon kerääminen voidaan kuvata myös tiedontuottajien rooleina. Rakennustiedon tuottajia ovat pääosin rakennusluvan aikainen rakennussuunnittelija, Kuopion kaupungin työyksiköt alueellinen rakennusvalvonta, kiinteistönmuodostuspalvelut ja paikkatietopalvelut. Alla olevissa luvuissa on kuvattu päätuottajien vastuutehtävät. Tuottajien roolien tarkastelussa on hyvä käyttää LOD-tarkkuustasoja. Rakennusluvan pääsuunnittelijan ja Kuopion alueen ra-

kennusvalvonnan rooli ei muutu mitenkään nykyisiin käytössä oleviin prosesseihin nähden, jos rakennustietoa kerätään tarkkuustasoilla LOD1 ja LOD2.

7.3.1 LOD3- tai LOD4-tarkkuustaso IFC-tietomallista

Rakennusluvan pääsuunnittelija vastaa rakennusluvan vaatimustenmukaisten rakennuspiirrosten laatimisesta. Rakennussuunnittelijan vastuuna on varmistaa, että tietomalli on laadittu Yleisten tietomallivaatimusten 2012 mukaisesti ja on siirrettävissä IFC - tiedonsiirtoformaattina.

Rakennusvalvonnan rooli on myöntää tietomallinnuksen pohjalta tulostettujen rakennuslupapiirrosten oikeellisuudesta sekä myöntää hyväksytyjen asiakirjojen perusteella rakennuslupia. Rakennusvalvonta ylläpitää rakennuksen rekisteritietoa Facta kuntarekisterissä.

Kiinteistönmuodostuspalvelut sekä paikkatietopalvelut vastaavat IFC-tietomallin geometrisen asemoinnin tarkastamisesta sekä 3DCityDB-tietokannan ylläpidosta. Rakennuksen sijaintikatselmuksella on tärkeä rooli tietomallin asemoinnin tarkastamisessa. Rakennuksesta on hyvä käydä tarkistamassa sekä taso- että korkeussijainti. Paikkatietopalveluiden tulee varmistaa, että IFC-tietomalli on siirrettävissä 3DCityDB-tietokantaan sekä kohdennettavissa Facta kuntarekisterin pysyvään rakennustunnukseen.

7.3.2 LOD2-tarkkuustaso lennökkikuvauksesta tai ilmalaserkeilauksesta

Pääsuunnittelija vastaa rakennusluvan vaatimusten mukaisten piirrosten laatimisesta. LOD2-tarkkuustasolla pääsuunnittelija laatii rakennusluvan lupapiirroksia ohjelmistolla, joka ei tue tietomallinnusta, eikä näin ollen mahdollista tiedon siirtämistä IFC-tietomalliksi. Tähän tasoon kuuluu myös rakennusluvut, joiden lupakuvia ei suunnitella suunnitteluohjelmistolla vaan suunnitelmat on tehty käsin paperille.

Rakennusvalvonnan rooli on vastata tulostettujen rakennuslupapiirrosten oikeellisuudesta sekä myöntää hyväksytyjen asiakirjojen perusteella rakennuslupia. Rakennusvalvonta ylläpitää myös rakennuksen rekisteritietoja Facta kuntarekisterissä.

Kiinteistönmuodostuspalvelut vastaavat rakennusvalvontamittauksista, jonka tiedoista muodostetaan Trimble Locus maastotietokantaan kantakartan seinälinjatieto. Seinälinjatiedolla rajataan UAV-lennokkikuvauksesta sekä ilmalaserkeilauksesta muodostettava kolmiulotteinen rakennusmalli tarkkuustasolla LOD2. Kuopion kaupungilla ei ole omaa UAV-laitteistoa. Kuopion kaupungin hankkies- sa UAV-ilmakuvausaineistoa vastaavat Kuopion kaupungin paikkatietopalvelut aineiston luokittelusta ja rakennustietomallien laatimisesta. Ilmalaserkeilaus- hankkeiden päävastuu on paikkatietopalveluilla.

7.3.3 LOD1-tarkkuustaso sijaintikatselmuksesta sekä rakennusluvan tiedoista

LOD1-tarkkuustasoinen rakennustietomalli muodostuu pääosin samalla prosessilla kuin luvussa 7.3.2 esitetty kuvaus LOD2-tarkkuustason rakennusmallista. Rakennusluvan pääsuunnittelijan ja alueellisen rakennusvalvonnan tehtävät eivät muutu mitenkään. Kiinteistönmuodostus vastaa rakennusvalvontamittauksista. Päävastuun mallintamisesta ottaa Kuopion kaupungin Paikkatietopalvelut.

7.4 Puretut rakennukset

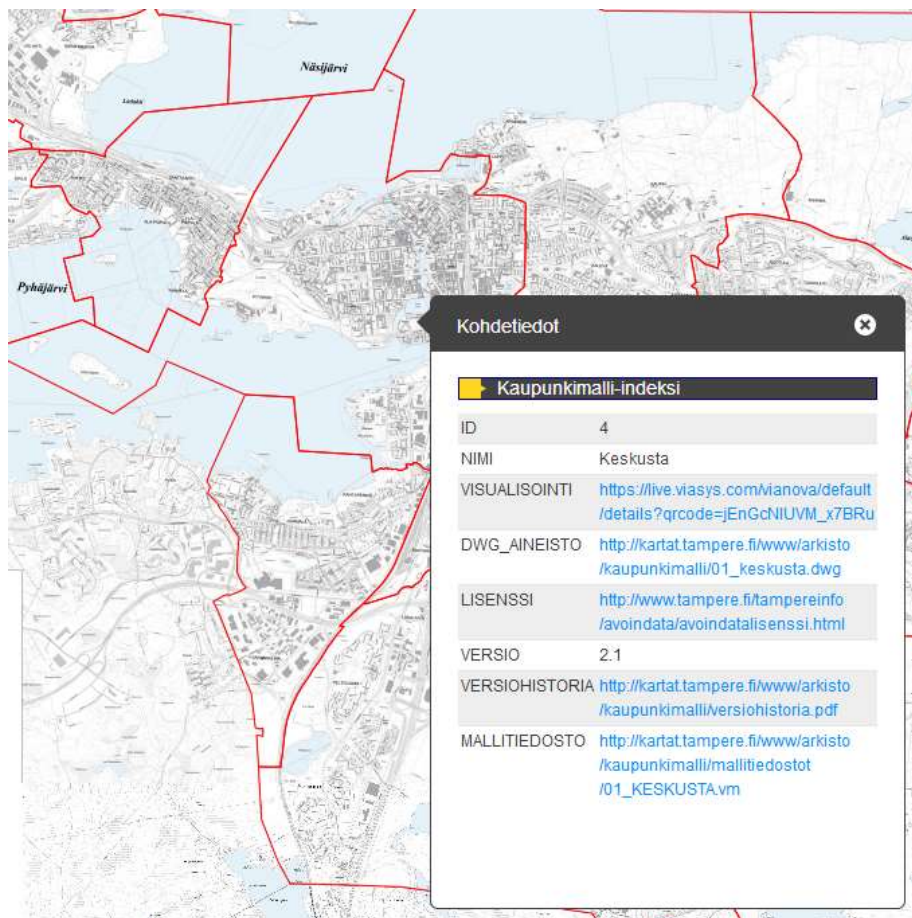
Rakennuksen purkaminen vaatii asemakaava-alueella, joko purkamisluvan tai purkamisilmoituksen. Purkamislupa-asiointia hoitaa Kuopion alueellinen rakennusvalvonta. (Kuopion kaupunki 2016b.) Alueellisella rakennusvalvonnalla on tärkeä rooli pitää Facta kuntarekisterissä olevat tiedot ajantasaisena. 3DCityDB tietokannan ajantasaisuudesta vastaa Kuopion kaupungin Paikkatietopalvelut.

7.5 Ylläpitäjien perehdytys

Ylläpitoprosessi on tarkoitus yhdistää osaksi kantakartan seinälinjatiedon kartoitusta sekä rakennusluvan rekisteritietojen ylläpitämistä. Lisätehtäväksi tulee huolehtia kolmiulotteisen tiedon keräämisestä maastosta sekä IFC-tietomalleista. Kuopion kaupungilla ei ole tarkoitus lisätä rakennusmallintamisen takia henkilöstöresurssia vaan kouluttaa nykyinen henkilökunta ymmärtämään ohjeistuksien, koulutusten sekä infotilaisuuksien avulla, mikä heidän roolinsa kolmiulotteisen tiedon ylläpidossa.

7.6 Loppukäyttäjä

Rakennusmalliaineistoa hyödyntäjiä varten on tehtävä luotettava ja yksinkertainen tiedonsiirtoprosessi. Luvussa 6.2.2 esitellyllä 3D City Database Importer/Exporter työkalulla voidaan käsin kirjoittaa halutulta alueelta CityGML-tiedosto rakennusmallien hyödyntämistä varten. Tehokkaampi vaihtoehto suurten alueiden hyödyntämiseksi on aineiston kirjoittaminen määräajoin karttalehtijakoon. Karttalehtijaon eräajo työkaluna voidaan käyttää joko 3D City Database Importer/Exporter työkalua tai TerraCity-ohjelmaa. Rakennusmallin karttalehtijako esimerkkejä löytyy Helsingin sekä Tampereen kaupungeilta. (Helsingin kaupunki 2017, Tampereen kaupunki 2017a). Loppukäyttäjän tulee pystyä tunnistamaan tiedonsiirtotapa sekä aineiston kuvaavat tiedot. Tampereen kaupungin kaupunkimalli-indeksi palvelussa on kirjattu aineiston ajantasaisuus, käyttöehdot sekä tiedonsiirtotapa. (Kuvio 24.)



Kuvio 24. Tampereen kaupunkimallin latauspalvelun indeksikartta (Tampereen kaupunki 2017)

8 PILOTTITESTI

8.1 Yleistä

Rakennustietomallintamisen testialueeksi valittiin Savilahden uuden yleiskaavan mukainen alue. (Kuvio 25) Alue on seuraavan vuosikymmenen merkittävin Kuopion kasvukohde niin yritysten, opiskelijoiden kuin asukkaiden näkökulmasta. Savilahden alueen asemakaava-alueen laajentaminen sekä maankäytön selvittäminen on myös alkanut vuonna 2015. (Kuopion kaupunki 2017a) Pilottitestin pääpaino on löytää tietomallinnuksen haasteellisia vaiheita ja kerätä kokemusta rakennusmallintamisesta.



Kuvio 25. Savilahden yleiskaava-alue sekä laserkeilausalueet

Pilottitestissä koostui osatehtävistä, jotka tuli tehdä alla olevan listauksen mukaisessa järjestyksessä.

- Rakennusten mallintaminen ilmalaserkeilausaineistosta
- Purettujen rakennusten tarkastaminen
- Ilmalaserkeilaus hetkeä uudempien rakennusten mallintaminen
- Aineiston visualisointi
- Rakennusmallien tallentaminen 3DCityDB-tietokantaan
- Rakennusten rekisteritietojen tarkastaminen
- Rakennusmallien hyödyntäminen suunnitteluohjelmistolla

8.2 Rakennusten mallintaminen ilmalaserkeilausaineistosta

Rakennusten mallintamisen suurin huomio on aineiston ajantasaisuus. Laserkeilausaineistot ovat kymmenen vuotta vanhoja. Alue jakautuu kahden eri vuoden ilmalaserkeilauksiin. Yleiskaava-alueen länsiosan laserkeilausvuosi on 2007. Alueen itäosan laserkeilaus on vuodelta 2009.

Trimble Locus maastotietokannasta on 188 kartoitettua erillistä rakennusta. Rakennuksista 140 kappaletta on yksilöitävissä Facta kuntarekisterin pysyvällä rakennustunnuksella. Jäljelle jäävät 48 rakennusta ovat kohteita, joita ei voida ilman vanhoja rakennuslupapiirroksia tarkastelematta yhdistää mihinkään pysyvään rakennuslupatunnukseen. Yhden rakennuksen osalta huomattiin selkeä virhe rekisterissä, joka korjattiin Trimble Locus maastotietokantaan. Tunnuksettomista rakennuksista suuri osa on alkuaan Suomen Puolustusvoimien rakennuksia, joille ei löydy rakennuslupaa. (Heinonen, A)

Ilmalaserkeilausaineistoista pystyttiin mallintamaan yhteensä 219 rakennuskohdetta. Ensimmäisen vaiheessa rakennukset muodostettiin automaattisesti TerraScanin ohjelman ehdottamilla vakioarvoilla. Vektoroinnissa löytyi 158 rakennuskohdetta. Vektoroinnin jälkeen rakennuksien katonmuodot tarkastettiin ja hyväksyttiin. Huomioitavaa on, että 74. rakennuskohteen geometriaa ei tarvinnut muokata ollenkaan. Kohteet olivat kattomuodoiltaan yksinkertaisimpia. Toisessa vaiheessa tarkasteltiin ilmalaserkeilauspisteitä käsin, jotta pystyttiin vek-

toroimaan loput rakennukset oikein. Pisteitä käsin luokittelemalla löydettiin melkein kaikki alkuperäisestä vektoroinnista puuttuneet rakennukset. Laserpisteiden luokittelua parantamalla löytyi alueelta 35 rakennuskohdetta.

8.3 Purettujen rakennusten tarkastaminen

Puretuille rakennuksille on kirjattu Facta kuntarekisteriin purkamispäivämäärä. Laserkeilausaineistossa sekä ilmakuvilla oli nähtävissä muutamia kymmeniä rakennuksia, jotka on purettu kymmenen edellisen vuoden aikana. Purettujen rakennusten seinälinja-aineisto oli poistettu aikaisemmin Trimble Locus maastotietokannasta, joten nämä rakennuksen jäivät mallintamatta. Purettujen rakennusten tarkastelu on varsin nopea toimenpide. Suurin osa puretuista rakennuksista sijaitsee aikaisemmin Puolustusvoimille kuuluneilla kiinteistöillä. (Heinonen 2015)

8.4 Ilmalaserkeilaus hetkeä uudempien rakennusten mallintaminen

Kuopion kaupungin ilmalaserkeilaushetkeä uudempia rakennuslupia Savilahdessa oli yhteensä 26 kappaletta. Sijaintikatselmus oli tehty 15 rakennukselle. Yksitoista rakennuskohdetta jäi mallintamatta, koska rakennuksilla ei ollut seinälinjatietoa Trimble Locus tietokannassa.

Savilahden uudet rakennukset olisi voitu laskea LOD1-tarkkuustasoiksi kohteiksi rakennusrekisteritietojen sekä sijaintikatselmuksen perusteella, mutta pilottitestissä päätettiin tutkia Maanmittauslaitoksen heinäkuun 2015 ilmalaserkeilausaineiston soveltuvuutta. Aineiston tarkkuus on noin 1–5 pistettä per neliömetri. Savilahden alueen uudet rakennukset ovat suuria kerrostalo- sekä toimistorakennuksia, jolloin rakennukset pystyttiin mallintamaan LOD2-tarkkuustasoisiksi kohteiksi harvemmasta Maanmittauslaitoksen aineistosta. Pienempi pinta-alaiset rakennukset mallinnettiin rakennuksen sijaintikatselmustiedoista LOD1-tarkkuustasoon.

8.5 Rakennusten teksturointi

Rakennusten katto- ja seinäpintojen teksturointi tehtiin elokuussa 2014 kuvatus- ta viistokuva-aineistosta. Teksturoinnin laskentaan otettiin mukaan vain LOD2-tarkkuustason rakennukset. Työmäärällisesti viistokuvien fotogrammetrisen pistetihennyksen laadinta on pitkä ja monivaiheinen prosessi. Pistetihennys täytyy kuitenkin tehdä vain kertaalleen koko Kuopion keskustan alueelle. Pilottitestissä työvaihe nopeutui, koska testissä hyödynnettiin valmiiksi orientoitua viistokuvausaineistoa, jolla rakennusmallit teksturoitiin TerraPhotolla.

Teksturointi sujui varsin ongelmitta. Kaikille seinäpinnoille sekä kattopinnoille pystyttiin tuottamaan tekstuuri. Varsinkin pienten rakennusten osalta tekstuurin käyttötarkoitusta ei voi pitää mielekkäänä, sillä suuri osa seinäpintaa on vihreän kasvillisuuden peitossa.

8.6 Rakennusmallien tallentaminen 3DCitydb tietokantaan

Rakennusten tallentaminen 3DCityDb tietokantaan on kaksivaiheinen toimenpide. Ensimmäisessä vaiheessa LOD2-tarkkuustason rakennuskohteet tallennetaan TerraCity ohjelmistolla tietokantaan. Sijaintikatselmustietojen perusteella mallinnettuja LOD1-tarkkuustason rakennuskohteita ei tallennettu tietokantaan, sillä TerraCity ohjelmisto ei tunnista kuin LOD-tarkkuustason kohteet. TerraCity tallentaa uusia kohteita kantaan testin mukaan suhteellisen nopeasti. Savilahden rakennusmallit tallentuivat 3DCityDb-tietokantaan noin viidessä minuutissa. Puutteena tiedontallentamisessa on se, ettei TerraCity luo tiedonsiirtoraporttia. Rakennusmäärän tarkastuksen voi tehdä 3DCityDB importer exporter ohjelman generate database report työkalulla. Työkalu kykenee näyttämään tietokannassa olevat rakennuskohteiden määrän.

Rakennustietomallin validointi suoritettiin Citydoctor ohjelmistolla. Tarkistus tehtiin 3DCityDB-tietokannasta kirjoitusta CityGML-tiedostosta, jossa oli yhteensä seitsemän rakennuskohdetta. Rakennuksista löytyi pieniä geometria virheitä jokaisesta rakennuksesta. Geometria virheiden lähde on CityGML-skeeman

sekä Microstation V8i ohjelmiston erilainen desimaaliarvon käsittely. TerraScanissa tuotetussa rakennuksen geometriassa tulisi olla yhtä paljon desimaaleja kuin CityGML 2.0 -rakennuskohteessa pitäisi olla. Vastaavaan ongelmaan on törmätty Sjors Donkers tutkimuksessa, joka tutki kuinka IFC rakennuskohteesta voidaan automaattisesti tuottaa CityGML 2.0 -rakennuskohte. (Donkers 2013, 42) Aineiston käyttöön geometriavirheillä ei mielestäni ole merkitystä. TerraScan- sekä TerraCity-ohjelmistojen tuotekehityksessä asia tulisi kuitenkin huomioida.

8.7 Rakennusten rekisteritietojen tarkastaminen ja hyödyntäminen suunnitteluohjelmistossa

Savilahden rakennustietomallien rekisteritietojen tarkastelu sekä rakennusmallien testaus suunnitteluohjelmistossa suoritettiin Autodesk Infraworks 360 ohjelmistossa. Savilahden alueen rakennukset kirjoitettiin CityGML-tiedostoksi 3DCityDB importer exporter ohjelmalla. Autodesk Infraworks 360 ohjelmisto tukee CityGML 2.0 -tiedostonlukua. Infraworks 360 tukee rakennustekstuurien sekä geneeristen attribuuttitietojen lukua.

Testiaineistossa ei ollut tekstuureja. Rakennusrekisterin tiedoilla visualisoitiin rakennukset ikäryhmittäin sekä käyttötarkoituksen mukaan. Huomioitavaa on, että joukosta visualisoitiin myös rakennukset, joilla ei ollut rekisteritietoja. Rekisteritiedottomille kohteille asetettiin tietty väri.

8.8 Pilottihankkeen työmääräarvio, resurssit ja kustannukset

Savilahden alueen rakentamisesta ei tullut suoranaisia kustannuksia tiedon keräämisestä maastosta, koska kerätty tieto oli peräisin olemassa olevista mitausaineistoista sekä rekisteritiedoista. Kokonaistyömäärä oli noin 37 tuntia. (Taulukko 7) Laskennallisesti yhden rakennuskohteeseen ylläpitoon kului aikaa keskimäärin kymmenen minuuttia. Kokonaisaikaa lisäsi merkittävästi kahden oppilaitoksen sisäpihan mallintaminen. TerraScan ohjelmistolle sisäpihan vekto-

rinti tuottaa ongelmia. Ongelmasta johtuen rakennuksen kantakartan seinälinja aluetta oli muokattava yksinkertaisemmaksi.

Taulukko 7. Savilahden testialueen työmääräarviotaulukko

Työvaihe	Aika-arvio(h)
Lähtötilanneaineiston kerääminen	1
Lähtötilannemallin vektorointi	24
Purettujen rakennusten tarkasteleminen	2
Laserkeilaushetkeä uudempien rakennusten mallinnus	6
Rakennusten teksturointi	2
Rakennusmallien tallentaminen 3DCityDb-tietokantaan	1
Aineiston tarkastelu Autodesk Infracore 360 ohjelmistossa	1

8.9 Testialueen huomiot ja ongelmat

Testialueella kantakartan seinälinjatiedot olivat mielestäni visuaalisen tarkastelun perusteella laadukkaita. Seinälinja-alueen geometria oli lähes poikkeuksetta laserpisteistä erottuvien räystäiden sisäpuolella. Koko alueelta löytyi viisi virheellisesti kartoitettua rakennusta. Rakennukset olivat Valamon pienessä saarressa sekä Savisaaren metsäisellä alueella.

8.10 Kaupungin työntekijöiden kommentteja

Toukokuun lopussa tein opinnäytetyöhön liittyvän sähköpostikyselyn kaupungin henkilöstölle (Liite 1). Valitsin kyselyyn henkilöitä Kuopion asemakaavoitukselta, katu- ja vihersuunnittelusta sekä strategisesta maankäytön suunnittelusta. Kyselyjoukkoon oli poimittu suunnittelijoita, jotka ovat hyödyntäneet kolmiulotteisia rakennusmalleja työssään. Kyselyssä oli myös mukana henkilöitä, jotka vastaavat 3D-rakennusmallien ylläpitoprosessista Kuopion kaupungin Paikkatietopalveluissa sekä Kiinteistönmuodostuspalveluissa. Lähetin kyselyn 19 henkilölle. Vastauksia kyselyyn tuli yhteensä seitsemän kappaletta. (Ahola 2017)

Kysymyksien asettelussa huomioitiin vahvasti rakennustietoaineiston käyttäjät sekä hyödyntäjät. Ensimmäinen kysymys kosketti kolmiulotteisten rakennusmallien hyödyntämistä. Vastauksista päätellen, yleisin tarve on visualisoida suunnitteluhankkeita, jotka liittyvät esimerkiksi energiatehokkuuteen, uusiin asemakaavahankkeisiin tai viheraluesuunnitelmiin.

Toinen kysymys kosketti rakennuksen korkeustiedon tarkkuutta sekä tärkeyttä. Vastaukset olivat varsin yksiselitteisiä. Rakennuksen räystäiden sekä harjan korkeustieto on tärkeää. Yhden vastauksen osalta kommentointiin, että työntekijä oli lähettänyt rakennuksen kattopinnan laserpisteet sekä rakennustietomallin suunnittelijalle. Suunnittelija oli todennut, että aineistoista saa rakennuksen korkeusaseman selvitettyä, mutta rakennuksen muodon hahmottaminen on helpompaa rakennustietomallista.

Rakennuksen visualisointi jakaa selvästi mielipiteitä. Rakennuksen tekstuurien käyttö koetaan osaltaan tärkeäksi pienissä kohteissa, mutta ei suurissa. Pinta-alallisesti suurten kohteiden teksturointi kasvattaa suunnitelmia merkittävästi. Rakennuksen visualisoinnista tuli myös kommentti, että rakennuksen seinäpinoilla ei saisi olla kasvillisuutta.

Neljännessä kysymyksessä kysyttiin tiedonsiirrosta. Tiedonsiirron tämän hetkinen tilanne koettiin yleisesti hankalaksi. Samalla useissa vastauksissa pyydettiin koulutusta sekä perehdyttämistä aineiston hyödyntämisestä. Rakennuksen rekisteritietojen hyödyntäminen ja visualisointi koettiin tärkeäksi, uudeksi ja mielenkiintoiseksi lisäksi. Selviä suunnittelukohteita löytyi vastauksista esimerkiksi rakennuksen iän, pinta-alan sekä käyttötarkoituksen hyödyntäminen energiaselvityksissä.

Kyselyssä pyydettiin kommentteja siitä, kuinka kuntalaiset, yritykset sekä yhteisöt ovat ottaneet vastaan kolmiulotteiset rakennusmallit. Kuntalaiset ovat ottaneet vastausten perusteella kolmiulotteiset havainnemallit hyvin vastaan. Suunnittelijoiden mielestä visualisoitu havainnemalli selventää uusien rakennusalueiden esitlemistä kuntalaisille. Kyselyn lopussa vastaajat saivat antaa palautetta

rakennustietomallien tuottajille. Tärkeiksi asioiksi koettiin tietomallinnuskoulutus sekä tiedonsiirron jouhevoittaminen.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOSELVITYKSET

Rakennustietomallinnuksen suurin haaste on ehdottomasti ylläpito. Kolmiulotteisen rakennusmallintamisen työkalut ovat toki tehokkaita, kun olemassa oleva tieto on ajantasaista sekä laadukasta. Laadulla tarkoitetaan toki aineiston tarkkuutta, mutta myös keräämistapaa sekä soveltuvuutta organisaation tuotantoympäristöön. Kuopion kaupunkimallinnusprosessi mielestäni tukeutuu varsin paljon laserkeilausaineiston hyödyntämiseen. Ilmalaserkeilausaineiston kerääminen on nopea ja helppo tapa kerätä suurilta alueilta lähtötietoa 3D-kaupunkimallinnusta varten. Ajantasainen tiedon kerääminen on kustannus- sekä koulutuskysymys. Esimerkiksi Kuopion alueella suoritettu vuoden 2017 ilmalaserkeilaus sekä ilmakeilaus 196 neliökilometrin alueelta maksoi kokonaiskustannuksena 165000 euroa (Kuopion kaupunki 2017i). Hankkeen neliökilometri hinnaksi tulee noin 820 euroa. Aineistonkustannuksessa tulee huomioida myös laserpisteaineiston monikäyttöisyys. Rakennusmallinnus on vain laserkeilauksen hyödyntämiskohde. Henkilöstön osaaminen ja perehdytys ovat tärkeässä roolissa, sillä kolmiulotteinen tietomallinnus on varsin uusi asia. Kaksiulotteinen tasokartta on edelleen luettavampi ja selkeämpi kuin kolmiulotteinen kaupunkimainen havainnemalli.

9.1 IFC-mallien käytöstä

IFC - tietomallien käyttö on varteen otettava vaihtoehto ilmalaserkeilauksen rinnalle tulevien rakennusmallien laatimiseksi. Kuopion kaupungilla ei kuitenkaan ole paljoa kokemusta IFC-tietomallin hyödyntämisestä, joten LOD3- tai LOD4-tarkkuustason mallien siirtäminen ylläpitotietokantaan vaatii lisää perehtymistä. Hyvin toimiva tiedonsiirto vaatii myös ohjelmistohankintoja sekä kehittää nykyisten ohjelmistojen hyödyntämisprosesseja.

Tulevaisuudessa tutkimisen arvoinen asia olisi perehtyä IFC-tietomallin ominaisuuksiin. IFC-tietomallin ominaisuustiedot olisivat siirrettävissä 3DCityDB-tietokantaan sekä kaupungin rakennusrekisteriin. Rakennustietojen siirtyessä

rakennusrekisteriin IFC-tietomallista voidaan nähdä myös kustannussäästö rakennusrekisterinylläpidossa.

Opinnäytetyössä on kirjoitettu IFC-tietomallin teknisestä soveltuvuudesta sekä maankäyttö- ja rakennuslain puutteista, jotka osaltaan ovat haasteita. IFC-tietomallin hyödyntämisessä tulee ottaa huomioon suunnittelijan ja kaupungin viranomaisten välinen luottamus. Kaupungin prosessien tulee luottaa siihen, että IFC-tietomalli on tehty eheästi ja vaatimusten mukaisesti. Tietomallin sisältöä ei voida kokonaisuudessaan tutkia vaan on luotettava yksityisen suunnittelijan tekemiin ratkaisuihin.

9.2 CityGML 3.0

CityGML-version 3.0 kehittäminen on aloitettu vuonna 2014. Kehitystyötä tehdään 14. työpaketissa, joihin voi liittyä kuka tahansa asiasta kiinnostunut. Työryhmiä koordinoi Open Geospatial Consortium sekä Special Interested Group 3D. Aikataulua CityGML 3.0 julkaisulle ei ole. (Open Geospatial Consortium 2014.) Osassa työpaketeista keskitytään opinnäytetyöni haasteellisiin osuuksiin, kuten ominaisuustietojen lisäämiseen geometriselle kohteelle sekä IFC-tietomallin ja CityGML-tietomallin yhteensovittamisen helpottamiseen. Työryhmä työskentelyssä keskitytään myös helpottamaan tiedon siirtoa eri CityGML-versioiden välillä.

CityGML määrittelytyöskentelyyn olisi hyvä saada suomalaisia tutkijoita, jotta Suomessa käytössä oleva Väestörekisterikeskuksen rakennuksen rekisteritieto olisi paremmin siirrettävissä CityGML-tiedonsiirtona. Esimerkiksi CityGML 2.0-version rakennuksen käyttötarkoituserät eivät sovellu Suomen kuntien rakennusvalvonnan käyttöön.

9.3 Kansallinen maastotietokanta hanke

Kansallinen maastotietokanta hanke on Maanmittauslaitoksen koordinoima kehityshanke maastotiedon keräämisestä Suomessa. Se on osa maa- ja metsäta-

lousministeriön paikkatietoalustakokonaisuutta. Hankkeen tavoitteena on kehittää nykyisen Maanmittauslaitoksen maastotietokannan seuraajaa, jossa ylläpito hajautetaan kaikille maastotietoa kerääville valtion sekä kuntien organisaatioille. (Maanmittauslaitos 2017b.)

Kansallisen maastotietokanta hankkeen yhtenä tavoitteena muodostaa koko Suomesta LOD2-tarkkuustason kolmiulotteiset rakennusmallit. Oletamus on, että kunnat tuottavat asemakaavoitetuilta alueilta kolmiulotteisia rakennuksia kansalliseen maastotietokantaan. Haja-asutusalueiden mallintamisesta vastaa Maanmittauslaitos. Tiedonsiirrossa on tarkoitus tukeutua CityGML 2.0 -standardiin. Koistisen esityksen perusteella kansalliseen maastotietokantaan on tarkoitus luoda kunnille rajapintaratkaisu sekä ylläpitoliittymä, jolla voi ladata CityGML-rakennuskohteita Kansalliseen maastotietokantaan. (Koistinen 2017.)

Tässä vaiheessa voidaan kyseenalaistaa, miksi Kuopion kaupunki suunnittelee ylläpitävänsä kolmiulotteisesti mallinnettuja rakennuksia omassa tietokantaratkaisussaan. Periaatteessa Kuopion kaupungilla ei tarvitsisi olla omaa CityGML-tietokantaratkaisuaan, koska tieto voidaan tallentaa tulevaisuudessa kansalliseen maastotietokantaan. Kansallisen maastotietokanta hankkeen venyminen seuraavalle vuosikymmenelle kuitenkin hidastaa kolmiulotteisen mallinnusaineiston tuottamista ja käyttöönottoa. Tarve kolmiulotteisille suunnitteluaineistoille on todellinen tällä hetkellä. Lisäksi kansallinen maastotietokanta hankkeen pääpaino on rakennuksissa sekä rakennusten osissa. Kolmiulotteisen tiedontalmentamista varten CityGML 2.0 -standardi sekä 3DCityDB-tietokanta mahdollistavat melkein kaikkien rakenteiden ylläpidon. Kaupunkisuunnittelussa on tarve myös kasvillisuuden, vesistöjen sekä maanalaisten kohteiden lähtötiedoille.

Kuopion kaupungin oma 3DCityDB-tietokanta on joustava vaihtoehto tämän hetken tilanteeseen, jossa kaupunkimallinnuksen ohjekirjaa laaditaan eikä kansallisia ohjeistuksia tai säädöksi kolmiulotteisen tiedon keräämisestä ole. Mielestäni tärkeintä on tuottaa CityGML 2.0 -standardin mukaista mallinnusaineistoa, joka on tulevaisuudessa siirrettävissä Maanmittauslaitoksen hallinnoimaan valtakunnalliseen kansalliseen maastotietokantaan. Eikä CityGML-

tiedonsiirtomuotoon mallinnetut rakennuskohteet sido aineistoa mihinkään ohjelmistoon.

9.4 Seuraavia askelia

Suomen sekä Euroopan valtioiden suurena haasteena on edistää yhdessä suunnitteluohjelmistotalojen kanssa CityGML-yhteensopivuutta. Esimerkiksi Kuopion kaupungilla on tietojeni mukaan alle viisi ohjelmistoa, joissa voidaan hyödyntää CityGML 2.0 -standardin mukaista tiedonsiirtoa. Näissäkin ohjelmistoista CityGML-tiedosto muunnetaan ohjelmiston omaan muotoon. Esimerkiksi kolmiulotteisen rakennuksen muuntaminen Collada-tiedostoksi moninkertaistaa ohjelmistojen määrän, joissa kolmiulotteista geometriaa voidaan hyödyntää. Kuopion kaupungin prosessien kehittämisessä onkin tutkittava entistä enemmän suunnitteluohjelmistojen CityGML 2.0 -tiedonsiirtovalmiutta.

Opinnäytetyöni keskittyi tutkimaan kolmiulotteisen rakennuskohteen ylläpitoa. Työssä ei kuitenkaan tutkittu kolmiulotteisten suunnitteluhankkeiden julkaisujärjestelmiä. Looginen seuraava askel kaupunkisuunnittelijan sekä kuntalaisen väliseen kommunikointiin on kolmiulotteinen karttapalvelu, jossa kolmiulotteisten suunnitteluhankkeiden vaiheita voidaan julkaista interaktiiviseksi palveluksi internettiin. Hyvä esimerkki julkaisupalvelusta on Helsinki 3D+ palvelu, jossa CityGML 2.0 -rakennuskohteita voidaan tarkastella vapaasti. (Helsingin kaupunki 2016a)

Kuopion kaupungin rakennusmallinnusprosessi täytyy pyrkiä pitämään kevyenä, koska kaupunkimallinnus ei lyhyellä aika välillä vähennä asemakaavan pohjakartan tarvetta. Rakennusmallien tuottaminen on Kuopion alueelliselle rakennusvalvonnalle, kiinteistönmuodostuspalveluille sekä paikkatietopalveluille osittain uusi työprosessi, johon täytyy löytää tarvittava henkilöstö sekä mittausaineistoresurssi. Riittävät resurssit takaavat kaupunkimalliaineiston ajantasaisuuden, laadun sekä soveltuvuuden suunnittelutarkoitukseen.

Kuopion kaupunki myy rakennusluvan suunnittelukäyttöön kantakartta-aineistoa maaomaisuuden hallintapalveluiden hinnaston mukaisesti perusmaksuna 40 euroa per hehtaari. (Kuopion kaupunki 2017d) Paikkatietoinsinööri Jari Torvisen mukaan kantakartta-aineiston vuosittaiset tulot ovat yli 50 000 euroa. Tulevaisuudessa kaupunkimalli korvannee suunnitteluaineistona kantakartan, mutta kaupunkimallin hinta on avoin kysymys. Ymmärtääkseni Maanmittauslaitoksen kansallisen maastotietokanta hankkeen yksi lähtökohta on osittain avoin aineisto, jossa osa tiedoista rajataan käyttöoikeuksien taakse.

Yleisesti kolmiulotteisen suunnitteluaineiston käyttäminen vaatii vielä Kuopion kaupungin aineiston tuottajilta sekä suunnittelijoilta paljon lisää käyttökokemusta. Kaupunkisuunnittelua on totuttu tekemään kaksiulotteisella käyttöliittymällä 1980-luvulta lähtien. Kolmiulotteinen tietomallinnus tähän verrattuna on varsin uusi ja tutkimaton kohde. Täysimääräinen hyödyntäminen vaatii suunnittelijalta, katselijalta sekä aineiston ylläpitäjältä asennemuutoksen, jossa kaksiulotteisesta paperia varten suunnitellusta käyttöliittymästä siirrytään kolmiulotteisen käyttöliittymän pariin. Tätä käsitystä tukee myös Kuopion henkilöstölle tehty kysely (Liite 1), jonka vastauksissa koettiin tärkeäksi perehdyttää enemmän suunnittelijoita kolmiulotteisen aineiston käyttöön.

9.5 Kaupunkimallinnuksen ohjekirjan puutteita

Kaupunkimallinnuksen ohjekirja kokoaa kevyesti ohjeita siihen, miten kunnan tulisi edetä kaupunkimallinnuksessa. Ohjeissa ei kuitenkaan kuvata kuinka rakennuskohteet tai muut rakenteet tulisi mallintaa. Ainoa tietomallikuvaus on suositus siitä, että kolmiulotteisessa kaupunkimallinnuksessa tulisi hyödyntää CityGML 2.0 -standardia. Puutteellista suosituksista johtuen kunnille syntyy erilaisia mallinnustapoja. Kaupunkimallinnuksen ohjekirjaan tulisi lisätä kuvaus, kuinka rakennuskohteiden eri pinnat ja osat tulisi mallintaa.

Mielestäni kaupunkimallin ylläpitoon tulisi laatia yhdessä kuntien ja Maanmittauslaitoksen kanssa JHS-suositus, jossa asetetaan tavoitteet ja asetukset rakennetun ympäristön mallintamiselle. Yhtäläiset ylläpitoprosessit tuottavat suu-

rella todennäköisyydellä samanlaisen lopputuloksen. Jos ylläpitoprosesseja voitaisiin suosituksilla yhtenäistää, voisivat suuremmat kunnat myydä kaupunkimallinnuksen ylläpitopalvelua maakuntansa pienemmille kunnille. Tämä tuottaisi valtakunnallisia säästöjä. Hyvä esimerkki yhtenäistämisestä on Kuntaliiton tekemä lähtöaineiston tarjouspyyntölomake. (Kuntaliitto 2016) Yhteisellä ilmakuvauksen tarjouspyynnöllä saadaan kustannuksia laskettua.

10 YHTEENVETO

Kolmiulotteinen lähtötietomalli olemassa olevista rakennuksista voidaan tuottaa ilmalaserkeilauksesta LOD2-tarkkuustasoisesti malliksi suhteellisen helposti. Lähtötilanteen jälkeen alkava rakennustietomallinnuksen ylläpitoprosessi vaatii perehtymistä, resursseja sekä toimintatapojen kehittämistä, jotta ylläpidettävä alue voidaan pitää ajan tasalla myös tulevaisuudessa. Ylläpidettävän aineiston kerääminen on yhdistettävä kaupungin tai kunnan olemassa oleviin tiedonkeruuprosesseihin, jolloin olemassa oleva henkilöstö tunnistaa kolmiulotteisen rakennustiedon tarpeellisuuden sekä tiedonkeruumenetelmän.

Pelkkä kaupungin sisäinen tiedonkulku ei riitä kehittämään ylläpitoprosessia jouhevaksi, vaan tietoa tulee jakaa myös rakennusluvan lupapiirrosten suunnittelijoille. Yksityiset rakennussuunnitteluyritykset tulee siis valjastaa osaltaan mukaan tiedonkeräämisen kehittämiseen valtakunnallisesti.

LÄHTEET

- 3D Geoinformation group at TU Delft. 2017. Validation of CityGML files. Viitattu 15.3.2017 <https://www.citygml.org/validation/>.
- Ahola, M. Tarvainen, M. 2017. 3DCityDBn käyttö Terrasolidin sovelluksilla kokemuksia pilotoinnista. Viitattu 16.9.2017 <http://www.terrasolid.com/download/presentations/2017/kuopio.pdf>.
- Ahola, M. 2017. Kaupunkimallinnus: Pyydän kommentteja kolmiulotteisten rakennusmallien hyödyntämisestä ja käyttökokemuksista. Sähköposti mari.piiipponen@kuopio.fi, emiilia.kosonen@kuopio.fi, jari.torvinen@kuopio.fi, tapio.kettunen@kuopio.fi, heli.laurinen@kuopio.fi, mika.turunen@kuopio.fi, harri.lappalainen@kuopio.fi, lauri.lytsy@kuopio.fi, veli.korhonen@kuopio.fi, jukka.eskelinen@kuopio.fi, esko.enkkela@kuopio.fi, ville-veikko.paakkonen@kuopio.fi, liisa.lappalainen@kuopio.fi, marko.tarvainen@kuopio.fi, auli.kaariainen@kuopio.fi, paula.pakarinen@kuopio.fi, pauli.sonninen@kuopio.fi, alpo.korhonen@kuopio.fi, jaana.kostiainen@kuopio.fi 26.5.2017. Tulostettu 30.5.2017.
- Asuntotieto. 2017. Rakennuksen elinkaari. Viitattu 21.1.2017 <http://www.asuntotieto.com/elinkaarimallit/Aineisto/24-elinkaari.html>.
- Berliinin kaupunki. 2017a. Berlin's 3D City Model is Available as Open Data. Viitattu 14.1.2017 <http://www.prnewswire.com/news-releases/berlins-3d-city-model-is-available-as-open-data-296190521.html>.
- Berliinin kaupunki. 2017b. Berlin Business Location Center. Viitattu 14.1.2017 <http://www.businesslocationcenter.de/berlin3d-downloadportal/index.en.html>
- Blom kartta. 2017. Paikkatiedon keruu. Viitattu 10.4.2017 <http://www.blomkartta.fi/palvelut/paikkatiedon-keruu/>.
- Building Smart International Finland. 2012a. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 1. Yleinen osuus. Viitattu 4.3.2017 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytyv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf.
- Building Smart International Finland. 2012b. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 2. Lähtötilanteen mallinnus. Viitattu 4.3.2017 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytyv2012_osa_2_lahtotilanne.pdf.
- Building Smart International Finland. 2014. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 Osa 14: Tietomallien hyödyntäminen rakennusvalvonnassa. Viitattu 7.10.2017 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytyv2012_osa14_rakennusvalvonta.pdf.
- Building Smart International. 2014. Summary of IFC Releases. Viitattu 4.3.2017 <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases>.

- Casper E. 2017. Viitattu 17.3.2017
http://www.citydoctor.eu/index.php/citydoctor_main.html?language=en.
- Datacubist. 2017. CityGML Add-on (BETA). Viitattu 18.3.2017
http://datacubist.com/support/default.html#addon_citygml_beta.html.
- Donkers S. 2013. Automatic generation of CityGML LoD3 building models from IFC models. Viitattu 14.10.2017.
http://www.gdmc.nl/publications/2013/Generation_CityGML_LoD3_building_models.pdf
- CGI Oy. 2015. Facta -Rakennusvalvonta. Viitattu 19.1.2017
https://www.cgi.fi/sites/default/files/_fi/Brochures_publications/facta-rakennusvalvonta_2015-03-11.pdf
- CGI Oy. 2016 Facta -kuntarekisteri ja paikkatietoratkaisut. Viitattu 19.11.2016
<https://www.cgi.fi/tuoteratkaisut/facta>.
- Haapa-aho, E. 2016. Postgre tietokannan asennus. Sähköposti ja-ri.torvinen@kuopio.fi. 17.11.2016.
- Hassinen, A. 2016. UAV-lennokit ja -kopterit : Kokemuksia UAV- ja RPA S-laitteista. Viitattu 14.4.2017 http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-2244-1/urn_isbn_978-952-61-2244-1.pdf.
- Heinonen, A. 2015. Pian puretaan – Puolustusvoimat rakensi varikkooan ilman lupia. Viitattu 6.5.2017 <http://www.savonsanomat.fi/kotimaa/Pian-puretaan-%E2%80%93-Puolustusvoimat-rakensi-varikkooan-Kuopiossa-ilman-lupia/539392>.
- Helsingin kaupunki. 2016a. Helsinki 3D-kaupunkitietomalli. Viitattu 12.1.2017
<http://www.hel.fi/www/Helsinki/fi/kaupunki-ja-hallinto/tietoa-helsingista/yleistietoa-helsingista/Helsinki-3d>.
- Helsingin kaupunki. 2016b. Uuden sukupolven 3D-kaupunkimallit Helsinkiin!. Viitattu 12.1.2017
<http://www.hel.fi/static/liitteet/kanslia/hki3d/Uuden%20sukupolven%20kaupun kimallit%20Helsinkiin.pdf>.
- Helsingin kaupunki. 2017. Index of/data/citygml/Helsinki3D_CityGML_BUILDINGS_LOD2_WITHTEXTURES_ZIP/. Viitattu 26.5.2017
http://3d.hel.ninja/data/citygml/Helsinki3D_CityGML_BUILDINGS_LOD2_WITHTEXTURES_ZIP/.
- Herreruela, J. 2013. Documentation of the 3DCityDatabase v2.1.0 and the Importer/Exporter v1.6.0. Viitattu 10.9.2017
<https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahU-KEwjqnb3YyszWAhXIApoKHRL6DkQQFggnMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.3dcitydb.org%2F3dcitydb%2Ffileadmin%2Fdownloaddata%2F3DCityDB->

Documentation-Addendum-v2_1.docx&usg=AOvVaw1lGYBUmL5jVAwhG-iv_ICM.

Hietanen, J, Kokko, P. 2015. CityGML muotoisen kaupunkimallin automaattiseen tuottamiseen IFC aineistosta. Viitattu 14.1.2017.
https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/kaupsun_ohjekirja/19.5.2016_IFC2CityGMLmallinnusohjeet.pdf.

Humala, H. 2017. Sähköisten lupienmäärät vuonna 2016 ja mahdollinen alkuvuoden tieto. Sähköposti marko.ahola@kuopio.fi 6.3.2017.

Jerlei, A. 2016. TCity_Opas.

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. 2014a. JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. Liite 2 Asemakaavan pohjakartan kohdemalli. Viitattu 8.11.2015 http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS185_liite4/JHS185_liite2.html.

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. 2014b. JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. Liite 4 Kohteiden kartoituksen laatuvaatimukset. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Viitattu 8.11.2015
http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS185_liite4/JHS185_liite4.html.

Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi BuildingSMART Finland. 2016. Kaupunkimallinnuksen ohjekirja. Viitattu 8.11.2015
<https://buildingsmart.fi/kaupunki/kaupunkimallinnuksen-ohjekirja/>.

Koistinen, K. 2017. Videotallenne. Viitattu 13.5.2017
<https://www.youtube.com/watch?v=2wqOwlwalhl>.

Kuntaliitto. 2016. Tarjouspyyntömallit. Laserkeilaus, liitteet 5 ja 6. Viitattu 10.1.2017 <http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/mal/verkko-oppaat/paikkatiedon-opas/toiminta-ja-hankinnat/asiakirja-ja-sopimusmalleja/Sivut/sivu-kartoituspyynto-malli.aspx>.

Kuopion kaupunki. 2016a. Kuntayhteistyö. Viitattu 19.11.2016
<https://www.kuopio.fi/web/kaupunkitietoa/kuntayhteistyö>.

Kuopion kaupunki. 2016b. Pientalo-ohje 2016. Viitattu 4.3.2017
<https://www.kuopio.fi/documents/7369547/7534958/Pientalo-ohje.pdf/3474156a-e33f-4b58-ab95-a4a6688dade7>.

Kuopion kaupunki. 2016c. Rakennushankkeen maastomittaukset. Viitattu 19.11.2016 <https://www.kuopio.fi/web/tontit-ja-rakentaminen/rakennusvalvontamittaukset>.

Kuopion kaupunki. 2017a. Asemakaavoitus. Viitattu 20.2.2017
<http://www.savilahti.com/asekaavoitus>.

- Kuopion kaupunki. 2017b. Kaupunkiympäristön palvelualue. Viitattu 8.4.2017
<https://www.kuopio.fi/kaupunkiympariston-palvelualue>.
- Kuopion kaupunki. 2017c. Laserkeilausindeksi. Viitattu 17.3.2017
http://karttapalvelu.kuopio.fi/?setlanguage=fi&e=27537200&n=6975656&r=32&w=*&l=kuopio_opaskartta%2Ckuopio_laserpisteindeksi&o=100%2C100.
- Kuopion kaupunki. 2017d. Maaomaisuuden hallintapalveluiden hinnasto. Viitattu 24.5.2017
https://www.kuopio.fi/documents/7369547/7492240/Hinnasto_2017_Maaomaisuuden_hallintapalvelut.pdf/e24d6777-86fb-4022-99dc-4bc981f7b030.
- Kuopion kaupunki. 2017e. Nähtävänä olevat kaavas suunnitelmat. Viitattu 14.1.2017
<https://www.kuopio.fi/fi/nahtavana-olevat-kaavasunnitelmat>.
- Kuopion kaupunki. 2017f. Purkamislupa ja -ilmoitus. Viitattu 8.4.2017
<https://www.kuopio.fi/fi/purkamislupa-ja-purkamisilmoitus>.
- Kuopion kaupunki. 2017g. Rakentamisen verkkoasiointi. Viitattu 3.3.2017
<https://www.kuopio.fi/rakentaminen-rakentamisen-verkkoasiointi>.
- Kuopion kaupunki. 2017h. Tarjouspyyntö ilmakuvauksesta sekä laserkeilauksesta 2017.
- Kuopion kaupunki. 2017i. Tarjouspyyntö ilmakuvauksesta sekä laserkeilauksesta 2017, hankintapäätös.
- Kuopion kaupunki. 2017j. Tietopaketti 2017. Viitattu 25.3.2017
<https://www.kuopio.fi/fi/tilastotietoa>.
- Kuopion kaupunki. 2017k. Toimintakäsikirja. Viitattu 5.5.2017.
<https://intra.kuopio.fi/toimintakasikirja>
- KuopioKanava. 2013. Viitattu 14.1.2017 <https://vimeo.com/61785289>.
- Lantmateriet. 2015. Product description: GSD-Orthophoto and GSD-Orhtophoto25. Viitattu 14.1.2017.
http://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/flyg--och-satellitbilder/produktbeskrivningar/e_ortofoto.pdf.
- Lappalainen H, Rosenberg S. 2017. Haastattelu 23.3.2017.
- Liebich T. 2009. IFC 2 x Edition 3 Model Implementation Guide. Viitattu 7.3.2017 <http://www.buildingsmart-tech.org/downloads/accompanying-documents/guidelines/IFC2x%20Model%20Implementation%20Guide%20V2-0b.pdf>.
- Lupapiste.fi. 2017. Suunnitelmat ja liitteet. Viitattu 9.3.2017
<https://www.lupapiste.fi/ohjeet/luvanhakijoille/suunnitelmat-ja-liitteet>.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Maanmittauslaitos. 2017a. Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. Viitattu 17.3.2017 <http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>.

Maanmittauslaitos. 2017b. Kansallinen maastotietokanta (KMTK) -ohjelma. Viitattu 13.5.2017 <http://kmtk.maanmittauslaitos.fi/node/2>.

Maanmittauslaitos. 2017c. Laserkeilausaineisto. Viitattu 10.1.2017 <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>.

Narinen, M. 2014. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston hyödyntäminen yhdyskuntatekniikassa. Opinnäytetyö. Viitattu 1.5.2017 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73975/narinen_mika.pdf?.

Nieminen, K. 2017. Ortokuvat ja 3D-pistepilvet. Viitattu 6.5.2017 <http://www.innocad.com/ortokuvat-ja-3d-pistepilvet/>.

Open Geospatial Consortium. 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Viitattu 14.4.2017 https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842.

Open Geospatial Consortium. 2014. Call for Participation in the CityGML 3.0 development. Viitattu 17.1.2017 <http://www.opengeospatial.org/standards/requests/119>.

Open Geospatial Consortium. 2017. CityGML. Viitattu 17.1.2017. <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.

Rakennusteollisuus RT ry. Rakennuksen elinkaari kestävän rakentamisen lähtökohtana. Viitattu 30.9.2017 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/Rakennuksen-elinkaari/>.

Rakentaja.fi. 2006. Pysyvä rakennustunnus RATU otettiin käyttöön Helsingissä. Viitattu 18.3.2017 <https://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/suorakanava/verkkolehti/06/0106ratu.htm>.

Safe Software. 2015. BIM to GIS (Advanced) | IFC LOD 200 to LOD 3 CityGML. Viitattu 18.3.2017 <https://knowledge.safe.com/articles/1024/bim-to-gis-advanced-ifc-lod-200-to-lod-3-citygml.html>.

Sahi, A. 2005. Prosessien kehittäminen. Viitattu 2.4.2017 <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/0303012/1106227851022/1106577077518/1107020129145/1107020303613.html>.

Special Interested Group 3D. 2014. Opas 3D-esineiden mallintamiseen. Osa 2: Rakennusten mallintaminen (LoD1, LoD2 ja LoD3). Viitattu 25.1.2017

- http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/VER_0.99_-_201311_SIG3D_Modeling_Guide_for_3D_Objects_Part_2.pdf.
- Special Interested Group 3D. 2017. Viitattu 17.1.2017
<http://www.sig3d.org/index.php/en/sig3d-standardisation-citygml-inspire.html>.
- Soininen A. 2012. Training_steps.txt - TerraPhoto koulutusmateriaalia. Viitattu 22.4.2017.
- Soininen A. 2017a. Export City Model. Viitattu 14.3.2017
<http://www.terrasolid.com/guides/tphoto/index.html>.
- Soininen A. 2017b. TerraScan User Guide. Viitattu 14.3.2017
<http://www.terrasolid.com/guides/tscan/index.html>.
- Sova3D. 2017. Virva3D - Rakennusvalvonnan BIM laajennus. Viitattu 9.3.2017
<http://sova3d.fi/virva3d.html>.
- Tampereen kaupunki. 2017a. Kaupunkimalli-indeksi. Viitattu 26.5.2017
<https://kartat.tampere.fi/oskari?lang=fi&uuid=77b84bdf-3363-4cce-b302-12b21cfa8dd9>.
- Tampereen kaupunki. 2017b. Rakennusvalvontamittaukset. Viitattu 9.3.2017
<http://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen/kiinteistonmuodostus-ja-mittauspalvelut/rakennusvalvontamittaukset.html>.
- Tampereen kaupunki. 2017c. Tampereen kaupungin kaupunkimalli. Viitattu 12.1.2017
<http://kartat.tampere.fi/www/arkisto/kaupunkimalli/versionhistoria.pdf>.
- Tasamitta Oy. 2016. Kuopio Maljalahti. Viitattu 15.4.2017
<https://www.youtube.com/watch?v=ML0uAYW8bdo&feature=youtu.be>
- The PostgreSQL Global Development Group. 2017. Create Trigger. Viitattu 3.5.2017
<https://www.postgresql.org/docs/9.1/static/sql-createtrigger.html>.
- Tilastokeskus. 2016. Luokituskuvaukset. Viitattu 22.4.2017
<http://www.stat.fi/meta/luokitukset/rakennus/001-1994/kuvaukset.html#otsikko2>.
- Torvinen, J. 2016. KuntaGML rajapinnat Kuopiosta: Neljä prosessia - neljä rajapintaa. Viitattu 19.1.2017
http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tapahtumat/aineisto/2016/Kuntien_3D-kaupunkimalli_ja_paikkatietoseminaari/10022016/9Torvinen_KuntaGML%20rajapinnat%20Kuopiosta.pdf0t.pdf.
- Torvinen, J. 2017. Toimintakäsikirja.
- Valtionvarainministeriö. 2015. SADe-ohjelman palvelut. Viitattu 3.3.2017
<http://vm.fi/sade-ohjelman-palvelut>.

Words of Wisdom Finland. 2011. XML:n rakenne. Viitattu 17.3.2017
<http://www.wisdom.fi/site/xml/rakenne.htm>.

Yao Z, Chaturvedi K, Kolbe T. 2015. 3D WebClient based on the 3D City Database for CityGML. Viitattu 13.3.2017
http://www.3dcitydb.net/3dcitydb/fileadmin/downloaddata/Architecture_WebClient.pdf.

Ylipulli, M. 2013. Lentolaserkeilauksen hyödyntäminen rakennusvalvontamittauksissa. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
<http://www.theseus.fi/handle/10024/66103>.

LIITTEET

LIITE 1. Kaupungin henkilökunnalle esitetty sähköpostikysely rakennusmallien hyödyntämisestä ja käyttökokemuksista.

1. Kuopion kaupunki on tuottanut ilmalaserkeilauksesta kolmiulotteisia rakennusmalleja vuodesta 2013. Mihin käyttötarkoitukseen olet käyttänyt rakennusmalleja?

- a. Alueiden esittelyyn muille kuin kuopiolaisille, aurinkoenergiamallinnukseen, energiataselaskentaan. Tulen käyttämään malleja yhä enemmän tulevaisuuden energiatarpeiden laskentaan, mm. Savilahden osalta.
- b. Omalla kohdallani rakennusmallien käyttö alkuvaiheessa. Ensisijainen käyttötarve tulee olemaan yleis- ja toteutussuunnitelmien visualisointiaineistossa. Rakennusmallit täydentävät hyvin omalta osaltaan suunnitelmaratkaisujen sijoittumista ja yhteensopivuutta alueen ympäristöön.
- c. Kolmiulotteiseen aluesuunnittelun lähtöaineistona, josta tehdään suunnittelun ja päätöksenteon tueksi havainnekuvia ja videoita.
- d. Malleja on käytetty osayleiskaavan (Välimäki) ja kansallisen kaupunkipuiston aluerajausten havainnollistamiseen.
- e. On käytetty nykytilanteen ja suunnitellun tilanteen havainnollistamiseen.
- f. Tässä vaiheessa rakennusmalleja on käytetty kantakartan ja laserkeilausaineistojen lisämateriaalina (dgn/dwg formaatissa). Sisäisissä hankkeissa rakennusmalleista on todennettu esim. räystääskorkeuksia suoraan tai saman aikaisesti laserkeilauspisteiden kanssa. Ulkopuolisten asiakkaiden kanssa on ollut jonkin verran myös rakennus/kaupunkimalliasia esillä. Yksittäistapauksissa on toimitettu tukimateriaaliksi myös ”pala” kaupunkimallia asiakkaan kohdetontilta. Käsittääkseni ainakin suuremmat suunnittelutoimisto tekevät rakennusmallinnukset itse hankkimastaan kantakartta/laserkeilausdatasta + omat mittaukset.

(tarkkoja malleja kohteista). Pienimmillä suunnittelutoimistoilla ei ole ohjelmistoja tuottaa rakennusmalleja laserkeilausaineistoista ja tuollainen simppele DWG 3D mallikin on palautteen perusteella ollut hyvä lisämateriaali. Kaupunki/rakennusmalli ei ole meillä vielä Kuopiossa kaupallistettu ja joitakin tämäntyyppisiä testiaineistoja on lähetelty testi/kommentti käyttöön myös ulkopuolisille asiakkaille.

2. Onko rakennusten mittaustarckuus ollut riittävä? Hyödynnätkö työssät räystätiden tai harjan korkeustietoa työssät?

- a. On. Korkeustieto on tarpeellinen välillä.
- b. Mittatarkkuudesta en vielä tässä vaiheessa osaa sanoa, mutta räystätiden ja harjojen korkeustiedot ovat tarpeellisia, aivan kuin olemassa olevan puuston korkeustiedotkin. Nämä vaikuttavat mm. suunnitelma-alueiden näkymätarkasteluihin.
- c. On ollut, en ole huomannut rakennuskannassa epätarkkuuksia. Uutta suunniteltua rakennuskantaa verrataan aina olemassa olevaan, joten tämä on tärkeä asia erityisesti Kuopion keskustan alueella.
- d. Rakennusten esittäminen on ollut riittävä. Työssätäni ei ole toistaiseksi tarvinnut esitetyn tarkkuuden mukaisia tietoja. Maaston esittäminen on ollut tarpeellisinta Välimäen alueella. Jatkosuunnittelun yhteydessä (laskettelurinteet) puuston ja mahdollisten uusien rakennusten esittämisen tarve tulee korostumaan myös siellä.
- e. On ollut riittävä. Räystäs- ja harjakorkeudet ovat tärkeitä tietoja.
- f. Omassa työssä ei varsinaista hyödyntämistä räystäs-/harjakorkeus aiheeseen. Asia on tullut lähinnä esille kun olen kaupungin sisällä toimittanut aineistoja, josta suunnittelupuoli on em. korkeuksia tulkinut. Ainakin yhdessä tapauksessa pyysin kommentoimaan rakennuspisteet vs. kaupunkimalli. Kommentti taisi olla , että kummastakin korkeudet sai, mutta kaupunkimallista

kohteen hahmottaminen oli helpompaa (edellytyksenä, että selkeät kattomuodot)

3. Onko visuaalinen ilme tärkeä asia? Tässä tapauksessa tarkoitetaan katto- ja seinätekstuurien tarpeellisuutta.

- a. Tärkeintä on mallin käytettävyys. Jos tekstuurit lisäävät mallin tiedostokokoa ja siten tarvitsevat tehokkaan koneen pyörittämiseen, ne eivät ole mielestäni tarpeellisia.
- b. Rakennusmallien korkeustieto on mielestäni tekstuureja tärkeämpää. Toki tekstuuritieto tuo visuaaliseen ilmeeseen todenmukaisuutta, esim. sisäänkäynnit erottuvat julkisivussa.
- c. Viimeaikoina havainnekuvin on käytetty paljon pelkästään uuden ja vanhan rakennuskannan erottelua kahteen eri väriin, esim. tummanharmaa (vanha) ja vaaleanharmaa (uusi). Jos rakennuksissa on tekstuurit, niin niiden tulisi olla riittävän hyvälaatuisia, eli ilman puita ja pensaita, jotka usein näkyvät osana rakennuksen tekstuuria. Ainakin Kuopion keskustan osalta tekstuurit ovat mielestäni tärkeitä, jolloin kohteen sijainti on helpompi hahmottaa.
- d. Toistaiseksi visuaalinen ilme ei ole ollut tarpeen, mutta kansallisen kaupunkipuiston hoito- ja käyttösuunnitelman laadinnan yhteydessä ruutukaava-alueella visuaalisuuden merkitys tulee korostumaan ja täten tekstuurit voivat auttaa havainnollistamisaineiston laadinnassa.
- e. On tärkeä esimerkiksi Juankosken torin suunnittelussa. Isommassa kohteessa (Savilahti) ei oleellinen, kasvattaa turhaan tiedostokokoa ja hahmottaminen vaikeutuu.
- f. Kun käytetään 3D kaupunkimallia pohja-aineistona 3D muodossa olevalle suunnitelmalle niin mielestäni em. tekstuurit on tarpeellisia visuaalisen hahmottamisen takia.. Kattojen ja seinien värityksiä on esim. korttelisuunnitelmissa / RTO:ssa määrätty ja näin ollen on hyvä, että alueet erottuvat myös kattojen ja seinien värityksin kuten reaali maailmassa. Teksturit antava paremman kuvan rakennushankkeen vaikutuksesta alueen tulevaan

ilmeeseen. Voi hyödyntää esim- web – pohjaisissa kansalaisille suunnatuissa palveluissa esim. kaavahankkeiden esittelyssä, kommentointimootoreissa jne....Teknisessä tarkastelussa tekstuurit ei välttämättömät, koska mallia käytetään teknisten yksityiskohtien mittaamiseen jne ja näin ollen mallin tarkkuus ja tasalaatuisuus on visuaalista ilmettä tärkeämpi. Teknisenä käyttöesimerkkinä voisi olla vaikka talojen sijoittelu tontille siten, että palomääräysten suojaetäisyydet täyttyvät. Kaikkien mahdollisten simulaatioiden pohja-aineistona jossa tekstuureilla ei merkitystä esim. saastepilven leviäminen eri tuulilla / rakennuskannan meluestevaikutus jne...

4. Onko rakennusmalliaineisto helposti hyödynnettävää? (käytettävyys sekä tiedonsiirto)

- a. Olen saanut aineistoa käyttöön sinulta suoraan. Tässä voisi parantaa yleisesti tiedottamista, että mistä käytettävät aineistot löytyvät.
- b. Mielestäni ei. Aineisto tulisi olla helpommin haettavissa kantakartan tapaan.
- c. Välimäen alueella aineisto käytettävyys ja tiedonsiirto on ollut melko helposti hyödynnettävää. Koska kansallisen kaupunkipuis-ton alue on valtava, niin mallin teko itsessään vaati harkintaa ja kokeiluja. itsehän en tuota aineistoa siis tehnyt – vaan asiantuntija teki - ja sain nauttia hedelmistä.
- d. Säännöllistä tilannekatsausta/koulutusta (koulutusmateriaalia) tulisi lisätä käyttäjien kesken. IW:ssä käytettävät blokit tulisi kasata yhteiseen kirjastoon. Ohjeistusta, että mihin eri aineistot tallennetaan. Onko esim. mahdollista saada oma verkkolevyasema IW-aineistolle?
- e. Tästä aiheesta ei vielä vielä tarkkaa tietoa, miten valmista 3D kaupunkimallia aineistoa tullaan jakelemaan (formaatit, jakelukanavat jne..) . Kokemuksia Kuopion osalta vain dgn/dwg

pohjaisista simppeleistä "rautalankamalleista", jotka on olleet yhteensopivia nykyisten CAD –ohjelmien kanssa.

5. Rakennusmallien ylläpitoprosessissa yhdistetään Facta kuntarekisterin rakennusluvan rekisteritietoja rakennusmalleihin. Tietojen avulla pystytään visualisoimaan esimerkiksi rakennusten ikää, pinta-aloja, käyttötarkoitus jne. Onko tällaiselle tiedolle tarvetta?

- a. On, esimerkiksi energiamallinnuksia tehtäessä. Ikä, alat ja käyttötarkoitus vaikuttavat energiankulutukseen.
- b. On tarvetta. Aina on parempi mitä enemmän saadaan eri soveluksissa ja rekistereissä pidettävää aineistoa koostettua samaan paikkaan.
- c. Kyllä varmasti, jos näin voidaan tehdä erilaisia teemoja käyttötarkoituksen tai rakennuksen iän perusteella. Toistaiseksi visuaalinen ilme ei ole ollut tarpeen, mutta kansallisen kaupunkipuiston hoito- ja käyttösuunnitelman laadinnan yhteydessä ruutukaava-alueella visuaalisuuden merkitys tulee korostumaan ja täten tekstuurit voivat auttaa havainnollistamisaineiston laadinnassa.
- d. Ei vielä ymmärrystä tarpeelle. Kaavoittajat?
- e. Jossakin määrin voi olla tarvetta. Kaupunkimallin esitysalustalla hyvä olla mahdollisuus valita eri skeemoja käyttötarpeen mukaan. Esim. aurinkoenergiat kattoväriyksin niin silloin seinäteksturit pois . Monipuoliset ominaisuudet säädellä 3D dataa kaupunkimallipalvelussa olisi hyvä .

6. Millaista palautetta on tullut kuntalaisilta, yrityksiltä sekä yhteisöiltä rakennusmalleista tai hankkeista joissa mallinnusta on hyödynnetty

- a. Hyvää palautetta konsulteilta, jotka ovat aineistoa hyödyntäneet.
- b. Sivusta kuultuna hyvää. Mallinnukselle ja suunnitelmien visualisoinnille on kasvavaa tarvetta jatkossa, on kuitenkin eri asia esittää ratkaisut paperilla ns. taso- tai viistokuvina kuin mallipohjais-

ti todelliseen tilanteeseen sovitettuna. Mallinnus antaa mahdollisuuden tarkastella suunnitelmaa eri kulmista ja kohdista.

- c. Todella positiivista palautetta. Kaikki tuotettu kolmiulotteinen aineisto on helpottanut suunnitelmien hahmottamista ja päätöksentekoa.
- d. Kaava-alueiden havainnollistamista on sanottu olevan erittäin helpposti hahmotettavia. Kansallisen kaupunkipuiston yhteydessä käytetty karkeaan mallin ”liitovideo” sai messukäytössä positiivista palautetta.
- e. Hiltulanlahdesta ja Kurkimäestä tuli hyvää palautetta asukkailta, että IW-malli selvensi alueen kehittymistä. Keskustakohteista ja Puijolta tullut päättäjiltä kiitosta IW-malleista, jatkossa tulisi entistä enemmän mallintaa päätöksentekoa varten.
- f. Vielä ei ole paljoa palautetta tullut kun asia on uusi, joitain noita em. kommentteja on kertynyt dgn/dwg 3D aineistoista

7. Palaute aineiston tuottajille

- a. Hienoa että kehitätte malleja koko ajan omana työnä.
- b. Toiveena olisi kaupunkimalli, josta voisi käydä hakemassa/rajaamassa valmiin suunnittelualueen, tehdä siihen suunnitelman ja palauttaa sen sitten osaksi suurempaa kaupunkimallia, jolloin kaikkien tekemät suunnitelmat olisivat yhdessä paikassa, sen sijaan että ne nyt ovat missä sattuvat olemaan. Kaupunkimallissa olisi hyvä myös esitellä useita eri puolille kaupunkia sijoittuvia keskeisiä hankkeita. Ehkä kaupunkimalleja pitäisi olla kaksi? Toinen joka kuvaa nykyistä tilannetta, ja toinen jossa esitetään kaikki visiot ja suunnitelmat?
- c. Onko olemassa mahdollisuutta ...
 - i. paloitella malleja eri karkeustasoille ikään kuin lennosta?
 - ii. selailuversio, jossa ei voi muuttaa ominaisuuksia – ikään kuin ottaa kuvakaappauksia mallista halutuilta kohdilta?
- d. Koulutusta käyttäjille

- e. Aineiston jakelijan roolissa olen vuorovaikutuksessa asiakasrajapintaan ja havaintoni on, että 3D – ajattelu/toimintaympäristöt ovat tulossa entistä enemmän myös suunnitteluympäristöiksi myös ihan tavallisen rakentamisen saralla (lähinnä pientalot, rivitalot). Tämä on näkynyt laserkeilausaineistoja kohtaan lisääntyneen kysynnän myötä. Mielestäni yksi syy on, että 3D tuki / LAS formaatin tuki on tullut mukaan useisiin suunnitteluohjelmistoihin ja näin ollen mahdollistanut myös tätä 3D suunnittelua myös pientalo tms. kohteilla. Kaupunkimallia suunnitteluaineistona tukee myös talotehtaiden valmiit 3D mallit taloista –saadaan visualisoitua se , miltä talo tulisi näyttämään rakennuspaikalla.